# 高速増殖炉研究開発センター
# （高速増殖原型炉もんじゅ原子炉施設）
# 炉内中継装置の落下による変形について

平成24年3月9日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

# 目次


1. 件名 …… 1
2. 事象発生の日時 …… 1
3. 事象発生の場所 …… 1
4. 事象発生の原子炉施設名 …… 1
5. 事象発生時の運転状況 …… 1
6. 事象発生の状況 …… 1
（1） 発生状況 …… 1
（2） 事象確認時のプラント状況 …… 2
（3） 主な時系列 …… 2
7. 環境への影響 …… 3
8. IVTM及びAHMの設備概要 …… 4
(1) IVTMの設備概要 …… 4
(2) AHMの設備概要 …… 4
9. IVTMに関する調査 …… 5
9.1 引き抜き前のIVTMの調査 …… 5
(1) IVTM本体の調査 …… 5
(2) 上部案内筒の調査 …… 6
9.2 引き抜き後のIVTM本体の調査 …… 6
(1) IVTM本体の外観調査 …… 6
(2) IVTM本体の外観調査のまとめ …… 7
10. AHMに関する調査 …… 8
10.1 落下時のAHM操作に関する調査 …… 8
(1) AHMの据付け及び運転操作に関する調査 …… 8
(2) 落下時のAHM操作に関する調査のまとめ …… 9
10.2 現地における調査 …… 9
(1) 外観調査 …… 9
(2) 分解調査 …… 9
(3) AHMの現地調査のまとめ …… 10
10.3 工場における調査 …… 10
(1) AHMグリッパの分解調査 …… 10
(2) AHMの工場調査のまとめ …… 11
10.4 落下メカニズムに関する調査 …… 11
(1) 爪開閉ロッド回転の検証 …… 11
(2) IVTM本体落下に至るまでのメカニズム …… 12
(3) 落下メカニズムに関する調査のまとめ …… 13

11. AHMの設計の考え方と設計から運用までの原因調査 ……… 13
11.1 AHMの安全機能要求とその適合性及び設計の考え方 ……… 13
(1) 設計段階での安全機能要求 ……… 13
(2) 安全上の配慮(落下防止対策)に係るAHMグリッパ構造の設計の考え方 15
11.2 設計段階、製作・据付段階、運用段階における要因調査 ……… 15
(1) AHMの設計段階に係る調査 ……… 15
(2) AHMの製作・据付段階に係る調査 ……… 17
(3) AHMの運用段階に係る調査 ……… 18
11.3 パワーシリンダの交換に係る調査 ……… 19
(1) 交換前のパワーシリンダの調査(平成 2 年から平成 15 年まで使用) …… 19
(2) 交換後のパワーシリンダの調査 ……… 19
(3) ねじ部への緩み止め接着剤塗布に係る調査 ……… 19
11.4 要因調査のまとめ ……… 20
(1) 設計段階 ……… 20
(2) 製作・据付段階 ……… 20
(3) 運用段階 ……… 21
12. 推定原因 ……… 21
12.1 IVTM本体が落下した推定原因 ……… 21
12.2 AHMグリッパ(つかみ部)の形状が維持できなくなるに至った推定原因 … 21
13. 再発防止対策 ……… 22
13.1 IVTM本体の再製作 ……… 22
13.2 AHMの再発防止対策 ……… 22
(1) AHMグリッパの離脱防止対策の方針 ……… 22
(2) AHMグリッパの構造変更 ……… 22
13.3 吊り・不吊り判定の支援機能強化 ……… 23
13.4 品質マネジメントシステム(QMS)の改善 ……… 23
13.5 AHMの再発防止対策の評価 ……… 24
14. 水平展開 ……… 25
用語集 ……… 26
添付資料一覧 ……… 29

1. 件名

高速増殖炉研究開発センター（高速増殖原型炉もんじゅ原子炉施設）
炉内中継装置の落下による変形について

2. 事象発生の日時

平成 22 年 11 月 9 日（火） 13 時 14 分（法令報告事象と判断した時）

3. 事象発生の場所

独立行政法人日本原子力研究開発機構
　敦賀本部　高速増殖炉研究開発センター
　　高速増殖原型炉もんじゅ
　　　原子炉建物　運転床（R-501）

（添付資料-3-1）

4. 事象発生の原子炉施設名

核燃料物質の取扱施設および貯蔵施設
　核燃料物質取扱設備
　　燃料交換設備
　　　炉内中継装置

5. 事象発生時の運転状況

建設中（低温停止中）

6. 事象発生の状況

（1） 発生状況

高速増殖原型炉もんじゅは、平成 22 年 8 月 11 日から 17 日までの期間で燃料交換を行い、8 月 18 日から燃料交換の片付け作業を実施した。

8 月 26 日 14 時 48 分頃、燃料交換の片付け作業として、原子炉機器輸送ケーシング（以下「AHM」*1 という。）を用い、炉内中継装置（以下「IVTM」*2 という。）本体の頂部をつかんで吊り上げ、原子炉容器内から取り出す作業を行っていたところ、約 2m吊り上げた時点で吊り荷重が急減するとともに衝突音が発生し、IVTM本体が落下した。

落下状況を調査したところ、AHMのつかみ装置（以下「AHMグリッパ」*3という。）において、IVTM本体をつかむ爪を開くためのロッド（以下「爪開閉ロッド」という。）が正常な位置から約 90° 回転しており、AHMグリッパの爪（以下「グリッパ爪」という。）にずれ痕等を確認したことなどから、グリッパ爪が正常に開かず、グリッパ爪がIVTM本体の頂部を十分につかんでいない状態でIVTM本体を吊り上げたため、約 2m上昇した位置でIVTM本体がグリッパ爪から外れ落下したものと推定した。

このため、爪開閉ロッドが回転しないように当て板を取り付け、10 月 13 日にIVTM本体の引き抜き作業を開始したが、約 2.3m引き上げた時点で、約 3.7t の初期荷重に対し、あらかじめ設定した警報設定値の上限値 4.8t まで荷重が増加したため、引き抜き作業を中断した。

荷重増加の原因を検討した結果、固定プラグ側の燃料出入孔スリーブ下端部の狭隘部とIVTM本体の案内管接続部近傍が干渉している可能性を摘出したため、IVTM本体の内側案内管内面を観察したところ、11 月 9 日、内側案内管の上部隙間が初期の値 5～7mm に対し、約 15mm に拡大していることを確認した。

観察結果と解析により、IVTM本体の案内管接続部近傍で変形が生じていると推定し、安全上重要な設備であるIVTMが使用できる状態でないと判断した。このことから「原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していない。」と判断し、原子炉等規制法に基づく報告を行った。

＊1： AHM：Auxiliary Handling Machine
IVTM等を炉内に挿入又は炉外に搬出する際に使用する輸送容器

＊2： IVTM：In-Vessel Transfer Machine
燃料交換時に炉心と燃料出入設備との間で炉心構成要素を移送する燃料交換設備の構成機器の一つ

＊3： AHMグリッパは、爪開閉ロッド、グリッパ爪等によって構成され、爪開閉ロッドを上下に駆動し、2本のグリッパ爪を開閉させてIVTM本体のハンドリングヘッドをつかむ。爪開閉ロッドの駆動はパワーシリンダで行い、爪開閉ロッドとパワーシリンダは、U字金具のねじにより接続されている。U字金具はねじ構造となっており、ねじ部にはワッシャ（ニトリルゴム）が装着されている。
（添付資料-6-1、添付資料-6-2）

（2） 事象確認時のプラント状況

① 原子炉は停止中

② 1 次主冷却系のプラント状況
- A、Cループナトリウムドレン中
- Bループポニーモータ運転中（約 200℃）

③ 2 次主冷却系のプラント状況
- A、Cループナトリウムドレン中
- Bループポニーモータ運転中（約 200℃）

④ メンテナンス冷却系のプラント状況
- 1 次メンテナンス冷却系運転中
- 2 次メンテナンス冷却系運転中

（3） 主な時系列

8 月 26 日 14 時 48 分頃 原子炉容器内よりIVTM本体を約 2m吊り上げたところで、吊り荷重が急減し衝突音を確認（AHMの現場操作盤にて「荷重超過」(低)警報発報）

8 月 29 日 AHMグリッパ外観調査
爪開閉ロッドが約 90° 回転していることを確認

9月2日
～9月 3日　AHMグリッパ点検
2つあるグリッパ爪のうち、片方のグリッパ爪にずれ痕を確認
U字金具の締付け部の緩みを確認
9月 4日　グリッパ爪及び爪開閉ロッド等の詳細調査のため工場搬送
9月21日
～9月 28日　AHMグリッパへの爪開閉ロッド廻り止め(一枚板タイプの当て板及びU字金具のねじに接着剤塗布)を実施
AHMグリッパ振動測定を実施
10月 1日　中間報告書「高速増殖原型炉もんじゅの炉内中継装置取り出し作業の中断についての報告について」を提出
10月 4日　AHMによるIVTM本体引き抜き作業実施
挿入完了位置手前(グリッパストローク 18.81m)で「荷重超過」警報発報
AHMグリッパ下降自動停止
引き抜き作業中断
10月5日
～10月 11日　AHMグリッパ荷重信号に係るノイズ対策(シーケンサ制御装置のソフトロジックを改造)を実施
10月 13日　AHMによるIVTM本体引き抜き作業実施
「荷重超過」警報(警報設定値 4800kg)発報
AHMグリッパ上昇停止(グリッパストローク 16.72m)
引き抜き作業中断
10月14日
～11月 8日　IVTM内面観察準備(内面観察装置の工場製作・搬入、装置据付け・調整)
11月 9日　IVTM内面観察(上部)実施
13時14分　IVTMに有意な変形を確認
研究開発段階炉規則第43条の14第3号に基づく法令報告事象(原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していない)と判断

(添付資料-6-3)＊4

＊4:法令報告事象の判断までの時系列を含め、以降の時系列についても記載している。

## 7. 環境への影響

本事象の発生に伴う外部への放射性物質による影響、ナトリウムの漏えいはなかった。

(添付資料-7-1)

## 8. IVTM及びAHMの設備概要

### (1) IVTMの設備概要

IVTMは、燃料交換時に燃料交換装置（以下「FHM」*5という。）と燃料出入設備の間で炉心構成要素を受け渡すための装置であり、燃料交換の都度、AHMを用いて原子炉容器に装荷し使用する。通常は、メンテナンス・廃棄物処理建物（以下「M/B」という。）内の機器置場に保管されており、燃料交換準備又は後始末作業において、AHMによりM/Bと原子炉容器との間で移送される。

IVTM本体の頂部には、AHMグリッパと取り合うためのハンドリングヘッドが設けられており、AHMグリッパでIVTM本体をつかみ輸送ケーシング胴体内に吊り上げ収納される。原子炉容器への装荷時は、固定プラグ側の燃料出入孔スリーブ及び上部案内筒の内部に支持され、炉内構造物である上部支持板に設けられた下部ガイドでIVTM本体下端が振れ止めされている。

IVTM本体は、平成 3 年の据付け以降、燃料移送性能試験にて 2 回（空気中、ナトリウム中）、燃料交換にて 4 回原子炉容器への装荷実績があり、5 回目の燃料交換後のIVTM本体取り出し時に本落下事象が発生した。

（添付資料-6-1、添付資料-8-1）

＊5： FHM：Fuel Handling Machine

燃料交換時に炉心と燃料出入設備との間で炉心構成要素を移送する燃料交換設備の構成機器の一つ

### (2) AHMの設備概要

AHMは、原子炉停止後の燃料交換準備作業、後始末作業時等において、FHM本体、IVTM本体及びナトリウム透視装置（以下「USV」*6という。）本体を原子炉容器上に据付け、取外しを行う設備である。

AHMは、輸送ケーシング胴体、AHMグリッパ、グリッパ巻上げ装置、ドアバルブ等から構成され、グリッパ巻上げ装置から 2 本の鋼製ワイヤロープで吊り下げられたAHMグリッパにより取扱対象機器であるIVTM本体やFHM本体等をつかみ、巻上げ、輸送ケーシング胴体内に収納する。AHMに収納された取扱対象機器は、M／B内の機器置場と原子炉容器上との間で移送される。

（添付資料-8-2）

AHMグリッパは、爪開閉ロッド、グリッパ爪等によって構成され、爪開閉ロッドを上下に駆動し、2本のグリッパ爪を開閉させてIVTM本体のハンドリングヘッドをつかむ。

爪開閉ロッドの駆動はパワーシリンダで行い、爪開閉ロッドとパワーシリンダは、U字金具により接続されている。

（添付資料-8-3）

＊6： USV：Under Sodium Viewer

不透明なナトリウム中にある構造物を超音波で検知する装置

## 9. IVTMに関する調査

落下したIVTM本体についての変形等の状況確認及び落下原因の調査のため、IVTM本体の引き抜き前後でIVTMに関する調査を実施した。

### 9.1 引き抜き前のIVTMの調査

平成 22 年 10 月 13 日、落下したIVTM本体についてAHMによる原子炉容器からの引き抜き作業を実施したが、引き抜き作業途中で「荷重超過」警報により作業を中断した。

このため、AHMを用いた通常の方法では引き抜けない原因を特定するため、IVTM本体の状況調査を実施するとともに、落下原因の調査の一環として上部案内筒の調査を実施した。

(1) IVTM本体の調査

IVTM本体の引き抜き作業が中断となった引き抜き位置は、IVTM本体の上部案内管と下部案内管の接合部が燃料出入孔スリーブの最下端部近傍を通過する位置であった。このため、IVTM本体を引き抜く際に干渉したと推定される案内管の接続部を対象として解析による構造評価及び炉内観察を実施した。

（添付資料-9-1）

① 構造評価

IVTM本体の案内管接続部を対象として、落下に伴う荷重条件等を模擬した有限要素法による構造解析を実施した。

解析評価の結果、落下時の衝撃により、接続ピンが変形し、IVTM本体の上部案内管下端部が外側に張り出すことを確認した。

② 炉内観察

a. 内面観察

IVTM本体の内側案内管の上部及び下部について、内側案内管内部にペリスコープを挿入し内面観察を実施した。

観察の結果、内側案内管上部と仕切板との間に設けられた上下方向の初期の隙間 5～7mm に対して、約 15mm に拡大していることを確認した。

b. 外面観察

原子炉上部の予備孔よりペリスコープを原子炉容器内に挿入し、上部案内管と下部案内管の接続部の外面観察を実施した。

外面観察の結果、上部・下部案内管の接続部の隙間が約 8mm（初期状態で隙間は 0mm）であることを確認した。

炉内観察の結果、上部・下部案内管の接続部の隙間が約 8mm であり、この場合、構造解析評価に基づく上部・下部案内管の隙間と径方向変位の関係から上部案内管下端部の張り出し量は、約 5mm と推定した。

IVTM本体の原子炉容器からの引き抜き時、IVTM本体と炉上部に据付けられた機器間での狭隘部は、燃料出入孔スリーブ下端部（内径 $\phi$465mm）となるため、IVTM本体上部案内管（外径 $\phi$460mm）との初期の隙間は片側で 2.5 mm となる。上部

案内管下端部の張り出し量(約 5 mm)はそれよりも大きいことから、IVTM本体引き抜きの際に上部案内管下端部が燃料出入孔スリーブ下端部と干渉し、IVTM本体が引き抜けないものと判断した。

(添付資料-9-2)

(2) 上部案内筒の調査

IVTM本体落下に係る原因調査の一環として、落下した際の痕跡等を確認するため、落下直後に炉内観察用フランジ(点検窓付き)を燃料出入孔用接続筒の上面に設置し、ファイバースコープを用いて、上部案内筒内面を観察した。

調査の結果、上部案内筒の内面 270° 側上部にドアバルブ下面から下方に伸びている長さ約 1.7m のガイドキー(幅 約 30mm)よりやや細い帯状の白い筋を確認した。この白い筋は、その下端がIVTM本体のハンドリングヘッドの上方約 860mm の位置にあり、吊り始めのAHMのグリッパハウジング上端の位置とほぼ一致するとともに、AHMのグリッパハウジング上端外周部の 270° 方向にすり傷が確認された。このため、IVTM本体落下時のIVTM本体吊り上げの際に、AHMのグリッパハウジングが 270° 方向に傾いて上部案内筒と接触しながら吊り上げられたものと推定した。

(添付資料-9-3)

9.2 引き抜き後のIVTM本体の調査

IVTM本体を炉上部から引き抜き、ナトリウム洗浄を行った後、IVTM本体の外観について、詳細な外観調査を行った。外観調査は、IVTM本体落下の原因を確認する観点で、IVTM本体のハンドリングヘッドとAHMグリッパとの嵌合部とそれ以外の部位に着目して実施した。

(1) IVTM本体の外観調査

IVTM本体の全体の外観調査の結果、各部位にて確認された事項について次に示す。

① ハンドリングヘッド

a. ハンドリングヘッドには欠け、変形等の異常は認められなかった。

b. グリッパ爪の嵌合部分(270° 方向)にハンドリングヘッド内側垂直面下側に幅15mm 程度のすり痕 2 か所を確認した。

c. グリッパ爪の嵌合部分(90° 方向)にグリッパの爪幅以上にわたってすり痕を確認した。

② 本体据付フランジ

a. IVTM本体衝突時の押し付け圧が相対的に大きくなるガイドキー付近に最も深い部分で 0.1mm、それ以外の部分は約 0.04~0.09mm の接触痕(圧痕)を確認した。

b. ガイドキー溝付近以外に接触痕(圧痕)は目視確認できるものの、深さは計測限界(0.01mm)未満であった。

③ 回転ラック駆動軸

a. 上部ユニバーサルジョイントにおいて、ユニバーサルジョイントと下部駆動軸とを連結する平行ピン（下部側）1 本が破断し、駆動軸が約 70～80mm 程度下部方向に落下していることを確認した。

b. 同上の平行ピン（上部側）1 本が破断し、軸スペーサとユニバーサルジョイントとの間に約 7mm の隙間が生じていることを確認した。

④ 案内管及び接続部

a. 上部案内管と下部案内管との接続部の間隔が拡大（隙間：約 11mm～12mm）していることを確認した。

b. 上部案内管下端部が外側に変形したことにより、燃料出入孔スリーブ下端部と干渉（張出量：約 6～8mm)することを確認した。

c. 同接続部（8 箇所）の接続ピン及び取付ボルトの脱落がないことを確認した。

d. 下部案内管・回転ラック軸受台の接続部のギャップ量は約 1.5 mm であり、下部案内管下端部の外側への張り出しは全ての方位おいて確認できなかった。

⑤ 回転ラック部（軸部、メガネ部）

a. 回転ラック(軸部)の 180°方向に、幅約 20mm の間に深さのない長さ約 255mm のすり傷 2 本を確認した。

b. 回転ラック（メガネ部）の左側回転ラック側面 270°方向に、幅約 15mm の間に深さのない長さ約 60mm のすり傷 2 本を確認した。

⑥ 回転ラック軸受台部

a. 回転ラック軸受台下端部に、約 30°～170°の範囲で接触痕（圧痕）を確認した。

b. 回転ラック軸受台下端部に、周囲と比較して相対的に凸部となる箇所を確認した。

（添付資料-9-4）

（2） IVTM本体の外観調査のまとめ

① IVTM本体ハンドリングヘッド部の 270°方向のすり痕は、両端がAHMグリッパの爪幅に相当するため、IVTM本体落下時に発生したと推定した。
また、90°方向のすり痕はバフ研磨特有の模様であるため、IVTM本体落下に伴うすり痕ではなく、製作段階に行ったバフ研磨仕上げ時についた研磨痕であると推定した。

② 本体据付フランジで確認された接触痕（圧痕）は、IVTM本体落下時に本体据付座との接触により発生したと推定した。

③ 平行ピン（下部側）及び平行ピン（上部側）の破断は、IVTM本体の落下による衝撃によって発生したと推定した。

④ 上部案内管下端部は、IVTM本体の落下による衝撃により、外側に張り出した。この結果、IVTM本体引き抜き時、燃料出入孔スリーブ下端部と干渉したことを確認した。これらの状況は、IVTM本体引き抜き前に実施した構造解析の評価結果と傾向が良く一致していた。

⑤ 回転ラック（軸部、メガネ部）は、通常の使用時においても下部ガイドと接触する

部位であり、IVTM本体落下によるものかは明確ではない。

⑥ 回転ラック軸受台下端部の接触痕（圧痕）は、IVTM本体落下により下部ガイドのライナープレートと接触し、生じたものと推定した。また、回転ラック軸受台下端部の凸部となる箇所は、下部ガイドのライナープレートとライナープレートの継目に一致する箇所に存在し、元の形状が維持されていると判断した。

⑦ AHMグリッパと嵌合するIVTM本体のハンドリングヘッドに、IVTM本体落下時に発生した接触痕を確認したが、欠け、変形等の異常は認められなかったため、IVTM本体は落下要因とはならないと判断した。

⑧ IVTM本体の外観調査により確認された接触痕(圧痕)、破損、変形、すり傷等については、その位置及び性状からIVTM本体の落下により発生した衝撃荷重及び周辺機器との接触によって生じているものであり、IVTM 本体は落下要因とはならないと判断した。

⑨ IVTM本体の外観調査の結果、上部案内管と下部案内管との接続部の間隔が拡大しており燃料出入機能に支障をきたしていること、回転ラック駆動軸は上部ユニバーサルジョイン部が破損し、回転ラックの回転機能に支障をきたしていることから、燃料を取り扱えない状態であることを確認した。

## 10. AHMに関する調査

第 9 章までの調査結果より、IVTM本体については落下の原因となり得る損傷等は認められなかったことから、IVTM本体落下の原因はAHMにあると判断し、吊り上げ途中での落下事象発生に鑑み、落下時のAHMの操作に係る調査を実施するとともに、直接原因を究明するため、要因分析表に基づき調査を実施した。

（添付資料−10−1、添付資料−10−2）

### 10.1 落下時のAHM操作に関する調査

#### (1) AHMの据付け及び運転操作に関する調査

AHMの移動・据付け等の一連の取扱作業について、作業メーカから提出された作業報告書を調査し、手順のとおり移動・据付け作業が実施されていたことを確認した。

（添付資料−10−3）

落下事象発生時のAHMの運転操作について、操作員、保修員等に対して聞き取りによって調査を実施した。

結果は次のとおりである。

（添付資料−10−4、添付資料−10−5）

14 時 00 分頃　AHMによるIVTM本体の取り出し作業（吊り上げ作業）を開始

14 時 35 分頃　AHMグリッパ着床確認

14 時 37 分頃　AHMグリッパによりIVTM本体のつかみ操作（「つかみ」ランプ点灯確認）

14 時 40 分頃　吊り・不吊り判定で正常と判定し、AHMグリッパ上昇開始

（添付資料−10−6）

14 時 48 分頃　原子炉容器内より約 2m吊り上げたところで、グリッパ吊り荷重が

約 5,000N まで急減し、衝突音を確認

(2) 落下時のAHM操作に関する調査のまとめ

① AHMの移動・据付け等の一連の取扱作業は、燃料交換後始末作業要領書で定められた「作業手順/工事管理チェックシート」に基づき、手順のとおりに移動・据付け作業が実施されていた。

② 操作員は操作手順書に従い、操作盤に備えられたAHMグリッパ位置の計器、荷重を示す計器の指示値等によって操作に異常がないことを確認しながら、一連の操作が実施されていた。なお、AHMの吊り・不吊り判定機能は、その判定は一定の高さまで持ち上げた位置において、IVTM本体の所定の荷重があるかどうかで判定を行っており、AHMグリッパの形状の健全・不健全を検知する機能は有していないことを確認した。

③ 落下時のAHM操作に関する調査では、今回の落下事象の起因事象となる要因は確認されなかった。

10.2 現地における調査

(1) 外観調査

IVTM本体の落下直後にAHMグリッパの状況を確認するため現地にてCCDカメラを用いた外観調査を実施し、次の点を確認した。

(添付資料-10-7)

① 爪開閉ロッドが正常な位置に対して約 90° 回転していることを確認した。

② 90° 側及び 270° 側の両グリッパ爪について、見える範囲では異常は確認できなかった。

(2) 分解調査

爪開閉ロッドが約 90° 回転した原因を特定するため、現地にてAHMグリッパ分解調査(外観調査及び各部の寸法測定)を実施し、次の点を確認した。

(添付資料-10-8)

① 外観調査

外観調査は、爪開閉ロッド、グリッパ爪、グリッパハウジング、パワーシリンダなどについて実施し、次の点を確認した。

a. 爪開閉ロッドが正常な位置に対して約 90° 回転している状態を目視により確認した。

b. 爪開閉ロッドは、素手でU字金具をパワーシリンダ駆動軸に締め付ける方向に軽く廻せる状態にあることを確認した。

c. 90° 方向のグリッパ爪に、すり傷を確認した。

d. 270° 方向のグリッパ爪に、ずれ痕を確認した。

e. グリッパハウジングの 270° 方向上端外周部において、上部案内筒内面と接触した痕跡を確認した。

f. パワーシリンダの爪開閉ロッドの動作に関わる部位(ガイドバー、U字金具、連結ピン)に、U字金具のねじの緩み以外には、変形等の異常がないことを確認した。

g. グリッパ巻上装置に、ワイヤの破断及びロードセル取付けナットの分離等、異常がないことを確認した。

② 各部の寸法測定

AHMグリッパ各部の寸法測定を現地にて実施し、次の点を確認した。これら以外については、寸法測定では異常は認められなかった。

a. 爪開閉ロッドが約 90° 回転した状態での内つかみ爪の開き幅は、公称値(510mm)に対し、爪開閉ロッド押付け時の爪開き幅が 440.47mm であることを確認した。

b. パワーシリンダのロッド下端とU字金具上端との隙間について、爪開閉ロッドが 90° 回転した状態で隙間ゲージにて測定した結果、1.8mm(0° 方向)から 2.0mm(180° 方向)であり、同一仕様の新品ワッシャの厚さが 2.09mm(公称厚さ 2mm)であることから、ほとんど締め付けられていない状態であったことを確認した。

(3) AHMの現地調査のまとめ

① CCDカメラを用いた外観調査及びその後の分解調査の結果、爪開閉ロッドが約 90° 回転していることを確認した。また、爪開閉ロッドの回転は、パワーシリンダと爪開閉ロッドとの接合部のU字金具のねじの緩みが原因であると推定した。

② 爪開閉ロッドが約 90° 回転したことにより、グリッパ爪の爪開閉ロッド押し付け時の開き幅がIVTM本体のハンドリングヘッド内径 430mm に対して、440.47mm であるため、片側グリッパ爪に約 5mm 引っ掛かる状態(爪開閉ロッドが中心位置にある場合)にあったと推定した。

③ 270° 方向のグリッパ爪にのみずれ痕を確認したこと及びグリッパハウジングの 270° 方向の上端外周部において、上部案内筒内面と接触した痕跡を確認したことから、IVTM本体の吊り上げ時に、270° 方向のグリッパ爪での片吊り状態であったと推定した。

④ グリッパ巻上装置については、今回の落下事象の起因事象となる異常は認められなかった。

## 10.3 工場における調査

現地における調査後、AHMグリッパの主要構成部品(爪開閉ロッド、グリッパ爪、爪開閉ロッドガイドブッシュ、パワーシリンダ)をAHM製作メーカの工場に移送し同工場において分解調査(外観調査及び寸法測定等)を実施した。

(1) AHMグリッパの分解調査

AHMグリッパの主要構成部品について、分解調査(外観調査及び寸法測定等)を実施し、次の点を確認した。

① 爪開閉ロッド

a. ロッド先端の 90° 側及び 270° 側について、IVTM本体のつかみ時及びFHM本体のつかみ時にグリッパ爪と接触する位置付近に複数個のロッド軸方向の接触痕を確認した。

b. 接触痕は中央(正規位置)が一番長く、正規位置から緩み方向の円周に沿って、

比較的短い痕跡を確認した。

c. 爪開閉ロッド各部の寸法は、設計寸法のとおりであることを確認した。

（添付資料-10-9）

② グリッパ爪

a. 90° 側のグリッパ爪の側面にすり傷を確認した。

b. 270° 側のグリッパ爪の先端のずれ痕（メクレ）を確認した。

c. 外観調査・寸法計測及び 3D レーザスキャンによる欠損体積の算出によりメクレ部の欠損がないことを確認した。

d. 3 次元測定器による寸法測定の結果、90° 側、270° 側ともに設計寸法のとおりであることを確認した。

（添付資料-10-10）

③ 爪開閉ロッドガイドブッシュ

a. 付着物による汚れは確認されたものの、機能上有害となる異常は確認されなかった。

（添付資料-10-11）

④ パワーシリンダ

a. パワーシリンダの上下駆動及びリミットスイッチ取付け状態に異常はなく、軸駆動部の分解調査の結果、パワーシリンダロッドの回転等の異常は確認されなかった。

b. リミットスイッチの動作確認の結果、全て異常なく動作することを確認した。

（添付資料-10-12）

(2) AHMの工場調査のまとめ

① 爪開閉ロッドについては、確認されたロッド軸方向の接触痕について、下部中央（正規位置）の接触痕が一番長いことから、長期に渡り、爪開閉ロッドは正規の角度に保持されていたものと推定した。また、正規位置から緩み方向の円周に沿って、比較的短い痕跡が続いていることから、爪開閉ロッドの回転が徐々に回転が進行したものと推定した。

② グリッパ爪については、確認された 270° 側のグリッパ爪の先端のずれ痕(メクレ)について、欠け落ち等の欠損がないことを確認した。

10.4 落下メカニズムに関する調査

AHMの現地及び工場での調査結果より、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじの緩みによって爪開閉ロッドが回転し、グリッパ爪が正常な開き幅にならなかったことから、爪開閉ロッドの回転に係る検証及び爪開閉ロッドの回転からIVTM本体落下に至るまでのメカニズムについて調査を実施した。

（1） 爪開閉ロッド回転の検証

AHMの運用に伴い発生する振動等によって、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじに緩みが発生し爪開閉ロッドが回転し得ることを確認するため、次のとおり実機AHM運用中における起立時の振動を模擬した「爪開閉ロッドの加振試験」及び爪開閉操作を模擬した「爪開閉ロッドの動作再現試験」を実施した。

① 爪開閉ロッドの加振試験

実機AHMの転倒状態から起立する際に発生する振動測定結果を基に、AHMグリッパと同一形状の試験体を振動させた場合のAHMグリッパの状態（爪開閉ロッドの回転の有無）を確認する試験を実施した。

その結果、次の点を確認した。

a. IVTM本体落下事象時におけるU字金具のねじの締付け状態と同程度の締付け条件では、AHMが転倒状態から起立する際に発生する振動により、爪開閉ロッドを挟み込んでいた2つのグリッパ爪の不規則な当たりによって爪開閉ロッドに回転トルクが発生することを確認した。

b. 爪開閉ロッドに働いた回転トルクによって、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが正規の位置から徐々に回転することを確認した。

c. さらに加振を継続したところ、最終的に爪開閉ロッドがグリッパ爪から外れ、約90°まで回転することを確認した。

（添付資料-10-13）

② 爪開閉ロッドの動作再現試験

爪開閉ロッドが約 25°回転した状態から、爪開閉ロッドの上下駆動によってIVTM本体の落下した直前の爪開閉ロッドの駆動を模擬し、爪開閉ロッドの回転状態を確認する試験を実施した。

その結果、次の点を確認した。

a. 爪開閉ロッドが約 25°回転した状態から、IVTMはなしの模擬操作（爪開閉ロッドを上昇）によって、爪開閉ロッドが約 74°まで回転することを確認した。

b. さらに、IVTMつかみの模擬操作（爪開閉ロッドを下降）を実施後、IVTM本体吊り上げの模擬操作（荷重約 16kg）によって、爪開閉ロッドが2本のグリッパ爪により左右から挟まれ、爪開閉ロッドが約 90°まで回転することを確認した。

（添付資料-10-14）

(2) IVTM本体落下に至るまでのメカニズム

IVTM本体落下事象発生直前のFHM本体取り出し作業（平成 22 年 8 月）が問題なく実施できていることから、爪開閉ロッドが正規の位置から約 90°まで回転したのは、FHM本体の取り出し作業以降となる。

IVTMに関する調査、AHMの現地、工場での調査及び爪開閉ロッド回転の検証結果から、IVTM本体の落下に至るまでのメカニズムを次のとおり推定した。

① 平成 20 年から平成 22 年までの燃料交換作業において発生するAHM起立・転倒等に伴い、徐々にパワーシリンダのU字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが回転した。

② 平成 22 年 8 月にFHM本体取り出しが完了し、続いてIVTM本体取り出しのためAHMを起立・転倒した際、さらに、U字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドの回転が約 25°以上まで進行した。

③ 爪開閉ロッドが約 25°以上回転した状態で、AHMグリッパのつかみ操作までの過程で爪開閉ロッドが約 74°まで回転したため、IVTM本体つかみ操作時にグリ

ッパ爪は正常に開かず、IVTM本体を正常につかめなかった。

（添付資料-10-15）

④ IVTM本体の荷重がグリッパ爪に加わると爪開閉ロッドが約 90° まで回転し、爪の開き幅が正常時と比べ約 70mm 狭くなることから、片側のグリッパ爪先端は数 mm 程度ハンドリングヘッドに掛かっている状態となり、IVTM本体の吊り上げ動作に移った際の荷重、振動等により、90° 方向のグリッパ爪がハンドリングヘッドから外れ、270° 方向のグリッパ爪での片吊り状態となった。

（添付資料-10-16）

⑤ 片吊り状態で吊り上げた場合、荷重の掛かっている 270° 側にAHMグリッパが約 4° 倒れ、上部案内筒内面にグリッパハウジングの上端が寄りかかる形となり、グリッパハウジング上端が上部案内筒をこすりながら吊り上げられた。

（添付資料-10-17）

⑥ IVTM本体を約 2m 吊り上げた位置で、AHMグリッパが上部案内筒からドアバルブの箱型の空間に出た際に、グリッパの傾きが約 6° と大きくなるため、衝撃等でグリッパ爪が外れて落下に至った。

（添付資料-10-17～添付資料-10-19）

(3) 落下メカニズムに関する調査のまとめ

① AHMが転倒状態から起立する際に発生する振動により、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじが緩み、IVTM本体吊り上げの操作によって爪開閉ロッドが、約 90° まで回転し得ることを確認した。

② 爪開閉ロッドの回転によってグリッパ爪が正常に開かず、IVTM本体が片吊りとなり、吊り上げ過程でグリッパ爪がハンドリングヘッドから外れることによって落下に至ったと推定した。

## 11. AHMの設計の考え方と設計から運用までの原因調査

第 10 章での調査結果より、IVTM本体の落下は、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが回転したことが要因となり発生したと推定した。そこで、さらに要因を深掘りするため、AHMの設計の考え方とAHMの設計段階、製作・据付段階、運用段階の各段階を対象に、AHMグリッパの幾何学的形状の維持*7ができなくなるに至った原因調査を実施した。

＊7：AHMグリッパの把持機構として、グリッパ爪と取扱対象機器との嵌合によって、幾何学的に爪が外れない状態を維持する落下防止対策。

### 11.1 AHMの安全機能要求とその適合性及び設計の考え方

AHMは、原子炉上部における複数の取扱い機器（FHM本体、IVTM本体、USV本体）を対象とし、その安全機能としては、先行プラントである「常陽」キャスクカーなどの使用実績を参考に、種々の落下防止対策等を講じる設計としている。

(1) 設計段階での安全機能要求

AHMは、燃料集合体を直接取り扱うことはなく、燃料交換作業の前後において、燃料取扱設備機器を所定の場所に移動、設置させるために使用する機器であり、

原子炉の運転中はM/B内の機器置場に保管されている。

したがって、AHMに係る機器の故障、誤操作等が生じたとしても、燃料の健全性、原子炉冷却材バウンダリ、原子炉カバーガス等のバウンダリの健全性等に対して影響を与えることはないため、安全設計においては、「発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令*[8]」の規格基準類等には適用されない。また、安全上の機能別重要度分類を行う機器にも当たらない。

＊8:発電用原子力設備に関する技術基準を定める省令

第 26 条(燃料取扱い設備)

燃料を取り扱う設備は、次の各号により施設しなければならない。

四　取扱い中の燃料が破損するおそれがないこと。

七　燃料取扱い中に燃料を取り扱う動力源がなくなった場合に、燃料を保持する機構を設ける等により燃料の落下を防止できること。

設計段階においては、次の事項を明示し、取扱対象機器に係る安全上の配慮(落下防止対策)を行っている。

(添付資料-11-1)

① 取扱対象機器

FHM本体、IVTM本体、USV本体。

② 落下防止対策

グリッパの誤作動防止のインタロックを有すること、取扱対象機器の落下防止としての機能を有すること(電源喪失時のフェイルセーフ、巻上ワイヤの単一破損による落下防止等)、取扱対象機器の吊り、不吊りを検出する機能を有すること等。

③ 炉内カバーガスの漏えい防止

取扱対象機器の取扱い時、付着ナトリウムの酸化防止及び炉内カバーガスの漏えい防止のため、気密性を有すること、シール部の漏えい率については、常設する本設機器と同等のものとすること等。

④ ナトリウムの取扱い

収納した取扱対象機器から滴下するナトリウムの捕獲ができること等。

また、AHMは重量物を取り扱うため、グリッパを駆動する巻上装置のワイヤロープ、ドラムなどについては、労働安全衛生法に基づくクレーン等安全規則*[9]を準用し、構造設計はクレーン構造規格*[10]に則り設計を行っている。

＊9:労働安全衛生法に基づくクレーン等安全規則

第 17 条(使用の制限)

事業者は、クレーンについては、法第三十七条第二項の厚生労働大臣の定める基準(以下「厚生労働大臣の定める基準」という。)(クレーンの構造に係る部分に限る。)に適合するものでなければ使用してはならない。

＊10:クレーン構造規格

クレーン等安全規則第 17 条で規定する「厚生労働大臣の定める基準」。

(2) 安全上の配慮（落下防止対策）に係るAHMグリッパ構造の設計の考え方

AHMグリッパは、取扱対象機器がFHM本体、IVTM本体及びUSV本体であることから、それぞれの形状に応じたつかみ方式を採用している。

また、上記(1)で示した機能要求を満足させるため、グリッパ爪の構造や開閉機構等の基本的な構造設計を次のとおり実施している。

（添付資料-11-2）

① グリッパ爪の構造

3 種類の取扱対象機器では、それぞれハンドリングヘッド形状が違うこと及び作業時間の短縮の観点から、グリッパ爪の構造は、グリッパ交換に時間を要するアダプタ方式ではなく、単一のグリッパ爪での外つかみ・内つかみ方式を選定している。

また、グリッパ爪の本数は、「常陽」の燃料取扱用キャスクカーを始め、BWRプラントでの取扱機器例など豊富な使用実績があり、十分な信頼性がある、2 本爪構造としている。

② グリッパ爪の開閉機構

AHMグリッパの開閉機構は、一般的な把持機構である爪開閉ロッドとグリッパ爪の組合せによる方式とし、爪開閉構造を簡素化する観点からグリッパハウジング内に駆動源として電動駆動（パワーシリンダ）を設けている。また、3 種類の取扱対象機器のつかみ・はなしを行うため、取扱対象機器に応じた爪開閉ロッドの移動ストロークによってグリッパ爪の開閉を行う方式としている。本方式については、「常陽」キャスクカーの爪開閉操作レバーとして実績を有している。

③ 落下防止対策

把持機構を有する機器に対する落下防止対策として、次のとおり、離脱防止対策と急速落下対策を考慮した設計としている。

a. 離脱防止対策

AHMグリッパの離脱防止対策として、セルフロック方式、電源喪失時のフェイルセーフ、グリッパ爪の開閉に係わる電気的インタロック等を採用している。

セルフロック方式とは、グリッパの把持機構として、グリッパ爪先端部を直角で上方に屈曲させたフック付きとし、取扱対象機器にもこれに嵌合する溝を設けることで、取扱対象機器の荷重が嵌合部に作用し、幾何学的に爪が外れない方式である。本方式が機能するには、グリッパ爪と取扱対象機器との嵌合（つかみ部の形状維持）が前提となる。

b. 急速落下対策

二重化によるワイヤロープの単一破損での落下防止、電源喪失時のフェイルセーフ、異常時に昇降を停止させる電気的インタロック等を採用している。

## 11.2 設計段階、製作・据付段階、運用段階における要因調査

(1) AHMの設計段階に係る調査

直接原因に係る設計経緯等について、基本設計段階及び詳細設計段階を対象とし、AHM製作メーカから原子力機構に提出された図書及び関係者（AHM製作メー

カ及び原子力機構）への聞き取りによって調査を実施した。

（添付資料-11-3）

① 基本設計段階における調査

a. AHM製作メーカは、原子力機構からのもんじゅ実機の正式引合（昭和 55 年頃）に基づき、見積り段階でAHMの製作準備設計を開始した。

b. 製作準備設計期間（昭和 58 年頃）において、「常陽」での使用実績を参考に、パワーシリンダ内蔵型のグリッパ形状を考案し、グリッパ爪の離脱防止としてセルフロック方式（取扱対象機器を吊り上げた際に幾何学的にグリッパ爪が外れない方式）を採用することとした。爪開閉ロッドの形状については、2本のグリッパ爪を対称に正確に動作させる必要があることから、円柱形状から検討を始めた。この際、パワーシリンダと爪開閉ロッドとの接合部について、ねじ構造などの具体的な構造は考えていなかった。

c. その後、AHM製作メーカは、爪開閉ロッドを駆動するパワーシリンダの推力に余裕を持たせるため、爪開閉ロッドの軽量化を目的に形状を検討し、グリッパ爪と接触しない方向の円弧部を無くした平板形状を採用した（昭和 62 年頃）。

d. AHM製作メーカは、平板構造モデルを試作し動作を確認したが、爪開閉ロッドは軸方向の駆動のみであり、回転トルクは加わらないと考えた。したがって、設計時のデザインレビューでは、爪開閉ロッドが廻らない理由及び回転した場合のリスクに関して審議されておらず、記録もなかった。

e. 原子力機構とAHM製作メーカは、製作準備設計期間中に適宜、基本設計、取合調整等の打合せを実施したが、グリッパの内部構造に関する打合せは実施されなかった。

f. 原子力機構は、発注仕様書によってAHMの機能要求を提示し、契約を締結した（昭和 62 年 3 月）。

g. AHM製作メーカは、機器設計仕様書を原子力機構に提示し、原子力機構は内容検討後これを承認した（昭和 62 年 7 月）。なお、機器設計仕様書には、グリッパの内部構造に関する記載はなく、爪開閉ロッドの形状、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部は記載されていなかった。

h. 原子力機構は、落下させないことは求めたが、AHMの基本設計において落下させないことをどのように担保したかやAHMグリッパの幾何学的形状の維持に関する確認はされておらず、記録もなかった。

i. AHM製作メーカは、機器設計仕様に基づき、吊り・不吊り判定の機能条件を「取扱対象機器の吊り、不吊りを検出する機能を有すること」とした。

② 詳細設計段階における調査

a. AHM製作メーカは、吊り・不吊り判定は吊り上げ後の絶対荷重値で判定する方式を決定した（昭和 63 年頃）。この際、グリッパ爪が正常に開かず、取扱対象機器が正常に吊れなくなることの想定はしていなかった。

b. AHM製作メーカは、製作前のデザインレビュー時において、爪開閉ロッドに回転トルクは加わらないと考えていた（昭和 63 年頃）。

c. AHM製作メーカは、爪開閉ロッドの駆動に一般汎用品のパワーシリンダを使

用することについては、機器製作方案に記載して原子力機構に提示し、原子力機構は内容検討後これを承認した（昭和 63 年 11 月）。

d. 原子力機構は、機器製作方案で、一般汎用品のパワーシリンダによって爪開閉ロッドを駆動する方式と認識した。

e. パワーシリンダ製造メーカからAHM製作メーカに提出された図面には、U字金具がねじ構造であることが記載されていなかったため、AHM製作メーカはパワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であることを認識していなかった。

f. AHM製作メーカは、取扱対象機器の吊り・不吊りを判定する制御ロジックを決定した（平成元年頃）。

g. AHM製作メーカは、パワーシリンダ製作メーカからパワーシリンダが納入された後にパワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であることを認識したが、グリッパの構造上、爪開閉ロッドに回転トルクは発生しないと考えていたことから、U字金具ねじの緩みに対して、パワーシリンダ製造メーカ標準の構造（ゴムワッシャーによる抵抗力等）で使用上問題なく、通常の締め付けで良いと考えた（平成元年頃）。

（添付資料−11−4）

h. AHM製作メーカは、一般汎用品のパワーシリンダ本体の構成部品であるU字金具との接続部の詳細（ねじ構造）についてグリッパの構造図に記載しなかった。AHM製作メーカは、接続部の詳細（ねじ構造）を記載していないグリッパの構造図を原子力機構に提出し、原子力機構はこれを受領した（平成元年 6 月）。

i. 原子力機構は、グリッパの構造図によって爪開閉ロッドが平板形状であることを認識した。

(2) AHMの製作・据付段階に係る調査

製作・据付段階を対象とし、AHM製作メーカから原子力機構に提出された図書及び関係者（AHM製作メーカ及び原子力機構）への聞き取りによって調査を実施した。

（添付資料−11−3）

① AHM製作メーカは、工場にてAHMの製作を開始した（平成元年頃）。U字金具のねじの緩み止め防止の一般的な処置として緩み止め接着剤を塗布した。なお、緩み止め接着剤の塗布について記録することはなかった。

② 緩み止め接着剤の塗布については、落下事象後に実施した調査結果からも、パワーシリンダ本体とU字金具との接続部のねじに事前に塗布されていたことが判明している。

③ AHM製作メーカは、AHM製作後、原子力機構立会いの下に工場試験を行い（平成 2 年 4 月）、機能及び外観に異常はなく、要求機能を満足する試験結果が得られた。

④ AHM製作メーカは、取扱説明書を原子力機構に提出し、原子力機構はこれを受領した（平成 3 年 4 月）。

⑤ 原子力機構は、取扱説明書によってパワーシリンダとU字金具がねじによって接続されていることを認識した。

(3) AHMの運用段階に係る調査

① AHMの運転状況の調査

AHMは、平成 2 年から平成 3 年に据付け、その後、単体機能試験等を経て、燃料交換作業で使用されている。

AHMは、取扱対象機器であるIVTM本体、FHM本体及びUSV本体をAHMグリッパでつかみ・はなしを行う機器であり、各取扱対象機器の一連のつかみ・はなしの動作を1回とすると、据付け後のAHMグリッパでの取扱回数は39回であり、このうち平成15年のパワーシリンダ交換後のAHMグリッパでの取扱回数は今回を除いて14回である。

（添付資料−11−5）

a. AHMを使用した作業履歴

平成 15 年 6 月の点検後から今回の事象が生じるまでの 7 年間に、FHM本体及びIVTM本体のつかみ・はなし動作*11を合計 14 回（FHM本体：7 回、IVTM本体：7 回）行い、燃料交換準備及び片付け作業を行った。これらの間、AHMグリッパは、取扱対象機器のつかみ・はなしが正常にできていることから、作業履歴からは今回のIVTM本体落下事象の要因と思われるものは確認できなかった。

＊11：つかみ・はなしの一連の動作を 1 回とカウント。

b. AHMの移動・据付作業

燃料交換後のAHMの移動・据付等の一連の取扱作業は、これまでにも実施している作業であり、今回も過去の作業と同様に燃料交換後始末作業要領書で定められた「作業手順/工事管理チェックシート」にて、手順のとおり移動・据付け作業が実施されていることを確認した。

c. IVTM本体落下事象発生時の運転操作

AHMの運転操作は、燃料取扱設備操作マニュアルに基づき、制御装置による各ステップの完了条件表示を確認し、次のステップへの開始ボタンを押して行うものであり、完了条件が満足しない限りは次のステップに進めないように設計されている。今回の燃料交換後始末作業では、完了条件の不成立は発生しておらず、運転操作上の問題はなかった。

② AHMの保守に係る調査

U字金具ねじの締付け管理について、AHMが現地に搬入された平成2年以降に実施した4回の点検実績を対象とし、点検受注者（AHM製作メーカと同じ）から原子力機構に提出された図書によって保守管理の状況を調査した。

a. 過去 4 回のAHM点検において、U字金具のねじの締付け状態の点検は行われていなかった。

b. ねじの締付け状態の点検は、取扱説明書に記載されている保守管理対象であるねじを対象に実施していた。

c. 上述したように、AHM製作メーカはU字金具のねじを締付け管理の対象とは考えていなかったため、取扱説明書に記載することはなく、また、U字金具のねじが点検対象になることはなかった。

d. U字金具のねじは、パワーシリンダを格納しているグリッパハウジングの開放時でしか点検できないが、グリッパハウジングを開放して内部点検を実施した平成 7 年及び平成 15 年（パワーシリンダの交換を実施）の点検においても、U字金具のねじに着目した点検は行われなかった。

（添付資料-11-6）

11.3 パワーシリンダの交換に係る調査

パワーシリンダはAHM製作以降、平成 15 年に交換していることから、交換前後のパワーシリンダU字金具のねじについて、締付け状態の確認を行うとともに、AHM製作メーカへの聞き取りによって調査を行った。

(1) 交換前のパワーシリンダの調査（平成 2 年から平成 15 年まで使用）

調査の結果、U字金具のねじには緩み止め接着剤が塗布されていた。U字金具接続部の間隙は約 0.07mm、ねじが緩むトルク値は約 15N・m であり、手では廻らず、緩み止め接着剤により固定されている状態であった。

(2) 交換後のパワーシリンダの調査

調査の結果、平成 15 年の交換前に使用されたパワーシリンダとは異なり、U字金具のねじには緩み止め接着剤が塗布されていなかった。また、爪開閉ロッドが約 90° 回転した状態でのU字金具の接続部の間隙は、1.8mm から 2.0mm であった。爪開閉ロッドを 90° 締め戻した位置の間隙は、およそ 1.49mm から 1.69mm であった。新品ワッシャの公称厚みが約 2mm であることから、ねじの締付け代は 0.5mm 程度であり、ねじは手で軽く廻る程度であり固定されていない状態であった。

（添付資料-11-7）

(3) ねじ部への緩み止め接着剤塗布に係る調査

① AHM製作時（交換前）、AHM製作メーカの機器製作部門は、U字金具のねじに緩み止め防止の一般的な処置として、緩み止め接着剤を塗布した。

② AHM製作時（交換前）のパワーシリンダのU字金具のねじに、緩み止め接着剤が塗布されたことを示す記録はなかった。

③ AHM製作メーカは、交換するパワーシリンダについて、その一部の材料を変更（樹脂材料から金属材料）するため、変更箇所の強度評価を行った。

しかし、U字金具のねじへの緩み止め接着剤の塗布についての認識がなかった。

④ AHM製作メーカは、平成 15 年のパワーシリンダ交換要領書の作成に当たり、AHM製作・組立て時の設計図書を確認したが、U字金具のねじに緩み止め接着剤塗布の指示を示す記載がなかったことから、緩み止め接着剤の塗布について交換要領書に記載しなかった。

⑤ AHM製作メーカは、平成 15 年のパワーシリンダ交換時に、交換手要領書に基づき、パワーシリンダ製造メーカから購入したパワーシリンダのU字金具の取付け状態のまま据付け、緩み止め接着剤の塗布、ねじの増し締め等は実施しなか

った。

⑥ 交換用パワーシリンダは、交換前に外観上の異常の有無、現物が仕様のとおりであること等を確認し、交換後グリッパ爪の開閉動作を行い、所定の寸法のとおり爪が開いていることを確認している。

（添付資料-11-8）

以上のことから、パワーシリンダの交換に関して次のとおりと推定した。

・ 交換前のパワーシリンダU字金具のねじには、製作段階で緩み止め防止の一般的な処置として緩み止め接着剤が塗布されており、ねじに緩みが発生していなかったことから、AHMグリッパの幾何学的な形状は維持されていたと推定した。
・ パワーシリンダ交換の際、緩み止め接着剤塗布の指示を示す記録が無かったことから緩み止め接着剤が塗布されず、その結果ねじに緩みが発生し、平板形状の爪開閉ロッドが回転したことによってAHMグリッパの幾何学的な形状は維持されず、落下に至ったと推定した。

### 11.4 要因調査のまとめ

各段階に係る調査の結果、次の要因を摘出した。

（添付資料-11-9）

（1） 設計段階

① 基本設計段階

・ 基本設計の前提として、平板形状の爪開閉ロッドの回転を想定していなかった。
・ 平板形状の爪開閉ロッドが回転した場合、AHMグリッパの幾何学的な形状が維持できず、IVTM本体が正常に吊れなくなることを想定した影響評価を行わなかった。
・ 平板形状の爪開閉ロッドに回転トルクは加わらないと考えていたため、爪開閉ロッドの回転防止に係る対策の検討を行わなかった。

② 詳細設計段階

・ パワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であると認識した際、基本設計に立ち戻り、ねじの緩みなどにより平板形状の爪開閉ロッドが回転した場合、IVTM本体が正常に吊れなくことを想定した影響について検討を行わなかった。
・ また、当該ねじ構造について「ねじ構造をやめる」、「廻り止め措置を行う」などの形状維持対策の検討を行わなかった。
・ AHMグリッパの幾何学的な形状維持に係る接続部（ねじ構造）の詳細が、構造図に記載されなかった。
・ AHMによるIVTM本体の吊り・不吊りの判定機能は、グリッパ爪が正常に開かず、取扱対象機器が正常に吊れなくなることを想定していなかったため、AHMグリッパの形状の健全・不健全を検知する機能は有していなかった。

（2） 製作・据付段階

・ U字金具のねじに緩み止め接着剤を塗布した際、設計に立ち戻り、緩み止め

接着剤の妥当性、廻り止めの必要性について検討されておらず、また、塗布の指示及び塗布したことについて記録に残さなかった。

(3) 運用段階

・ U字金具のねじへの緩み止め接着剤の塗布及び締付け管理の必要性について認識していなかった。
・ AHMグリッパの幾何学的な形状維持に係る接続部(ねじ構造)に対して、廻り止め措置、締付けトルク確認が実施されているかどうかの確認を行わなかった。
・ パワーシリンダ交換要領書の作成に当たり、設計図書では緩み止め接着剤塗布の指示を示す記載がなかったことから、緩み止め接着剤の塗布について交換要領書に記載されていなかった。
・ パワーシリンダ交換作業の際、交換部品の交換前後の取付け状態の確認について管理された状態ではなかった。

## 12. 推定原因

### 12.1 IVTM本体が落下した推定原因

第 9 章及び第 10 章の調査結果より、IVTM本体が落下した直接的な原因は次のとおりであると推定した。

(1) 爪開閉ロッドを固定している爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじが、燃料交換作業でのAHM起立・転倒等に伴い発生する振動により徐々に緩み、爪開閉ロッドが回転し始めた。

(2) その後のAHMの使用により、爪開閉ロッドの回転が約 25° 以上まで進行した。さらに、IVTM 本体をつかんで吊り上げた際にIVTM本体の自重がグリッパ爪に伝わり、爪開閉ロッドが一気に約 90° まで回転した。これにより、AHMグリッパの幾何学的形状が維持されず、正常なつかみ状態とはならなかったことから、グリッパ爪が正常に開かず、IVTM本体はAHMグリッパにより片吊り状態となった。

(3) この状態で、吊り・不吊り判定を行ったが、片方の爪にIVTM本体の全荷重が掛っていたことから、所定の荷重を満足しており正常と判定された。引き続き、吊り上げを継続したところ、約 2m 吊り上げた位置でつかみ部のバランスが崩れたことにより、グリッパ爪から外れて落下に至った。

### 12.2 AHMグリッパ(つかみ部)の形状が維持できなくなるに至った推定原因

第 11 章の調査結果より、つかみ部の形状が維持できなくなるに至った原因は、次のとおりであると推定した。

(1) つかみ部の形状の維持は設計上重要であるが、基本設計段階で平板形状を採用した際、爪開閉ロッドの回転を想定していなかったため、爪開閉ロッドが廻ることを防止するなど、つかみ部の形状の維持に対する基本要求機能が適切に反映されなかった。

(2) 詳細設計段階で、爪開閉ロッドを固定している爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部がねじ構造であることを認識したが、基本設計時に爪開閉ロッドの回転を想定

していなかったため、ねじ構造を排除するなど、つかみ部の形状の維持に係る対策が検討されなかった。

(3) 一方、製作段階で、平成 2 年から平成 15 年まで使用していたパワーシリンダのU字金具のねじに緩み止め接着剤が塗布されたため、結果的につかみ部の形状は維持された。しかし、緩み止め接着剤の塗布の指示及び塗布したことについて記録を残さなかった。

(4) 平成 15 年のパワーシリンダを交換した際、緩み止め接着剤に関する記録がなかったことから、緩み止め接着剤がU字金具のねじに塗布されなかった。

(5) 緩み止め接着剤が塗布されなかった状態で使用したことにより、U字金具のねじが徐々に緩み、爪開閉ロッドが回転したことによってIVTM本体の落下に至った。

（6） AHMの設計当時における原子力機構の調達管理及び設計管理の品質保証活動において、爪開閉ロッドの回転、U字金具の固定方法であるねじの緩みに対する評価、確認が十分でないことを事前に摘出することができなかった。

## 13. 再発防止対策

### 13.1 IVTM本体の再製作

IVTM本体については、落下により損傷し、必要な機能を満足していないため、再製作する。

### 13.2 AHMの再発防止対策

(1) AHMグリッパの離脱防止対策の方針

直接原因となった爪開閉ロッドの回転を確実に防止し、AHMグリッパの離脱防止を確実にするため、AHMグリッパに係る具体的な設計に当たっては、グリッパ部の形状が正常に維持されるよう、爪開閉ロッドの回転が確実に防止できる構造（爪支持板の溶接一体構造、開口幅の狭隘化等）及びつかみ部の形状を維持するための機器部品については、ねじを排除した構造とする。

なお、その他AHMグリッパを構成する機器部品のうち、電気・計装品やワイヤロープなど分解点検を実施する必要がある機器部品は、工業製品での使用実績からも十分信頼性が高い廻り止め処置（折り座金、割ピン、ロッキングワイヤ等）を施すことにより、点検時に部品を取り外せるように設計する。

（添付資料-13-1）

(2) AHMグリッパの構造変更

上記(1)の方針に基づき、つかみ部の形状維持を確実にするため、次の構造に変更する。

① 平板形状の爪開閉ロッドが回転しないよう、爪支持板の開口幅を爪開閉ロッドの幅より狭めた形状に変更し、回転しないことにすることにより形状を維持させる。

（添付資料-13-1、添付資料-13-2）

② パワーシリンダロッドとU字金具を、ねじ構造から一体構造に変更する。

（添付資料-13-1、添付資料-13-2）

### 13.3 吊り・不吊り判定の支援機能強化

AHMグリッパの構造変更により、つかみ部の形状は確実に維持されるものとなるが、今回の落下事象に鑑み、従来の吊り・不吊り判定機能に加え、AHMグリッパの形状の健全・不健全を検知する機能を追加し、正常に吊っていることを確実に判定するための支援機能を強化する。

① グリッパ爪がハンドリングヘッドと嵌合した状態と嵌合していない状態では、荷重を検出する位置に差が出ることから、荷重がかかり始める位置の検出精度の向上及びグリッパ昇降速度を低速化することによって、この差を検出できるようにし、グリッパ爪が正常に開き、つかみ状態となっていることを確実に検出できるようにする。

（添付資料-13-3）

② 爪の開閉動作は、リミットスイッチによる間接確認に加え、AHMの使用前に、爪開閉の状態を目視できるよう点検窓を設ける。

（添付資料-13-4）

### 13.4 品質マネジメントシステム（QMS）の改善

AHMの設計、製作、運用段階において、要求機能に対する評価・確認が十分でないことを摘出できなかったことから、下記の内容をQMS文書に明記し改善を図る。

QMSの運用に際して、原子力機構は、容易に機能(幾何学的な形状の維持など)を喪失しない設計となっていることを設計審査で確認するとともに、組立又は据付け時に適切に緩み防止措置がなされていることを検査及び試験で確認する。

① 設計管理に対する改善

設計段階において、機器の機能が維持されるよう、「機能喪失した場合の影響を評価すること」「容易に機能(幾何学的な形状の維持など)を喪失しない設計とすること」「評価結果を記録し報告すること」及び「ねじ構造を構造図へ明記すること」を「請負契約に係る一般仕様書」に記載し、原子力機構は提示された評価結果が適切であるかを設計審査時に確認する。

上記で定めた設計要求が設計の各段階で継承されていることについては、現状の仕組みの中で確認する。

② 検査及び試験管理に対する改善

動力を伝達する接合部（ねじ構造等）に対し、機能喪失を防止するため、緩み防止措置等を施す場合、試験・検査項目として要領書に明記することを「請負契約に係る一般仕様書」に記載し、原子力機構は緩み防止措置に対する検査及び試験が適切に実施されていることを確認する。

③ 既設備に対する検査及び試験管理に対する改善

設備の本来の機能を喪失する又は重大な故障につながる部品を交換した際、交換前後の部品を比較し、それらの差異に気付くよう交換前後の取付け状態の確認を「請負契約に係る一般仕様書」に記載し、原子力機構は、交換前後の取付け状態の確認が適切に実施されていることを確認する。

### 13.5 AHMの再発防止対策の評価

（1） 軽水炉の燃料取替機との比較評価

AHMと軽水炉で採用されている燃料取替機において、要求される安全対策と再発防止対策を施したAHMとの比較評価を行った。その結果、次のとおり、AHMに係る再発防止対策を施すことで燃料取扱機と同等であることを確認した。

① 爪開閉に係る機械的インタロックについて、燃料取替機は把持後爪がカムに入り込むことによって開（爪が外れる）とならない構造としている。一方、AHMについては把持後爪開閉ロッドの押し出しによって爪が閉（爪が外れる）とならない構造としている。したがって、爪開閉ロッドが回転しない対策を施すことにより、燃料取替機と同等となる。

② 爪開閉に係る電気的インタロックは、双方とも昇降荷重と昇降位置によりグリッパの接地を確認した後でないと爪開閉できないものとなっており、対策は同等である。

③ グリッパの駆動源（電気又は空気）が喪失した場合の離脱防止機能は、双方とも爪の把持状態を保持するフェイルセーフとしており、対策は同等である。

④ 爪開閉の検出は、燃料取替機はグリッパ爪開閉の確認をつかみ具（グリッパ）の接地検出とフック（グリッパ爪）のつかみ検出の2種類のリミットスイッチで多様性を持たせている。AHMは、グリッパ爪のつかみ検出単体であるが、確実に取扱対象機器の吊り・不吊り判定機能を強化することにより、燃料取替機と同等となる。

⑤ 燃料取替機については、始業前点検として爪開閉の動作状況を目視確認することとしている。一方、AHMは、アルゴンガス雰囲気下において対象物を取り扱う必要がある。したがって、直接目視による開閉動作確認ができないため、爪の開閉動作はリミットスイッチによる間接確認に止まっていた。このため、AHMについて使用前に爪開閉動作等を目視確認できるよう改造を行うことで、燃料取替機の点検と同等となる。

（2） AHMグリッパのさらなる信頼性向上策

IVTM本体落下の原因を踏まえ、AHMグリッパ形状が正常に維持され、グリッパ爪が正常に開閉でき、取扱対象機器がAHMグリッパから離脱することがない構造となるよう再発防止対策を行うこととしたが、さらなる、AHMグリッパの信頼性を向上させるため、次の信頼性向上対策を施す。

① 爪支持ピンはボルト・ナット構造（廻り止め溶接＋Uナット付）から、爪支持ピンと抜け止め板の溶接一体構造によって固定する構造に変更する。

② 爪開閉位置検出用リミットスイッチ取付け位置の信頼性を向上させるために、リミットスイッチを二重化して各リミットスイッチ間にスペーサを設置し、位置ずれの発生を機械的に防止する。

③ グリッパ蓋に取り付けるパワーシリンダ上部の取付ボルトは、グリッパ蓋を削り込みロッキングワイヤによる廻り止めを行う。

（添付資料-13-1）

14. 水平展開

　IVTM本体の落下事象に係る原因究明に基づき、AHMグリッパについては確実な再発防止対策を施すこととした。これら再発防止対策を踏まえた水平展開については、AHMと同様にグリッパ機構を有する設備（AHM以外の14設備）を対象として、グリッパ爪の開閉による把持機能が確実に保持される構造であることを確認する。また、安全上重要な機器又は安全上重要な設備の上で重要物を取扱う設備を対象として、クレーン、ホイスト類（8設備）については、確実に落下防止対策が施されていることを確認する。

（添付資料-14-1）

　また、IVTM本体落下の原因となったAHMグリッパについては、設計段階における要求機能の確認が不十分であったことから、現有設備について、別途行っている根本的な原因分析等も踏まえ、設計要求事項の確認を行う。具体的には、安全上重要な設備・機器並びに安全上重要な設備に影響を及ぼす設備・機器を対象として、設計段階における要求事項が妥当であり、これら設計要求がその後の設備及び機器の製作・据付、運用段階へ適切に反映できていることを確認する。特に動的設備における機器の接合部については、機能喪失に係る観点から点検及び調査を実施する。

用語集

ア行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| EC モータ | EC（渦電流）カップリングを使用し、回転数を変化することができるモータ |
| 内つかみ | グリッパ爪の内側で物をつかむ |

カ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| 回転ラック | IVTM本体の下端にあり燃料ポットを移動する部品 |
| 外観点検 | 点検対象物の外観により状態を確認する点検 |
| ガイド | レール状の構造物で物の移動方向を決める機構 |
| ガイドキー | ガイドのレール |
| ガイドブッシュ | グリッパの爪開閉ロッドの移動方向を定める筒状の部品 |
| 開放点検 | 容器や弁の蓋等を開放して行う点検 |
| キャスク | 輸送用の容器 |
| グリッパ | IVTM本体などのハンドリングヘッドをつかむ装置 |
| グリッパハウジング | グリッパの容器 |

サ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| 差動型インデックス | 炉内中継装置の回転ラックの位置を示す指示計 |
| シャフト | 動力を伝達するための軸 |
| 外つかみ | グリッパ爪の外側で物をつかむ |

タ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| 爪開閉ロッド | 爪の開閉を行うグリッパの部品 |
| テーパ | 先細の意であり、勾配のついている部分。部品の先端を保護するため、先端部を切り落とした構造 |
| ドアバルブ | 原子炉内外に燃料や機器を搬出入する際に用いるドア状の封止装置 |

ナ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| ナトリウム透視装置 | 不透明なナトリウム中にある構造物を超音波で検知する装置 |
| ニトリルゴム | 合成ゴムの一種であり、耐油性、耐磨耗性、引き裂き強度に非常に優れる。Oリングやガスケット等に使用される |
| 燃料出入孔スリーブ | IVTM本体挿入時の案内ガイドをなす、炉上部の燃料出入孔に据付ける円筒状の構造物 |

ハ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| パワーシリンダ | グリッパの爪開閉ロッドを上下方向に移動させる電動の駆動装置 |
| ハンドリングヘッド | 炉内中継装置の頭部<br>グリッパでつかむためのはめ合い構造となっている |
| ファイバースコープ | 柔軟性のある光ファイバーを束にした狭隘部を観察する装置 |
| フランジ | 構造物の据付けに用いるつば形状の部品 |
| ペリスコープ | 反射鏡等を利用して視点の位置を変える光学装置のことであり、潜望鏡のようなもの |

マ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| 巻上装置 | ワイヤロープをドラムに巻き上げる装置 |

ヤ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| U字金具 | グリッパのパワーシリンダの部品でパワーシリンダと爪開閉ロッドを接続する部品 |

ラ行

| 用語 | 説明 |
|---|---|
| リミットスイッチ | 装置や機器の運転工程中の定められた位置で作動する検出スイッチ<br>ここでは、爪開閉ロッドの軸方向位置を検出する |
| レーザ距離計 | レーザ光が物に当り、反射したレーザ光の伝達時間を計り距離を求める計測器 |
| 連結ピン | 軸の連結を拘束するピン状の部品 |
| ロードセル | 荷重を計測するセンサー |

ワ行

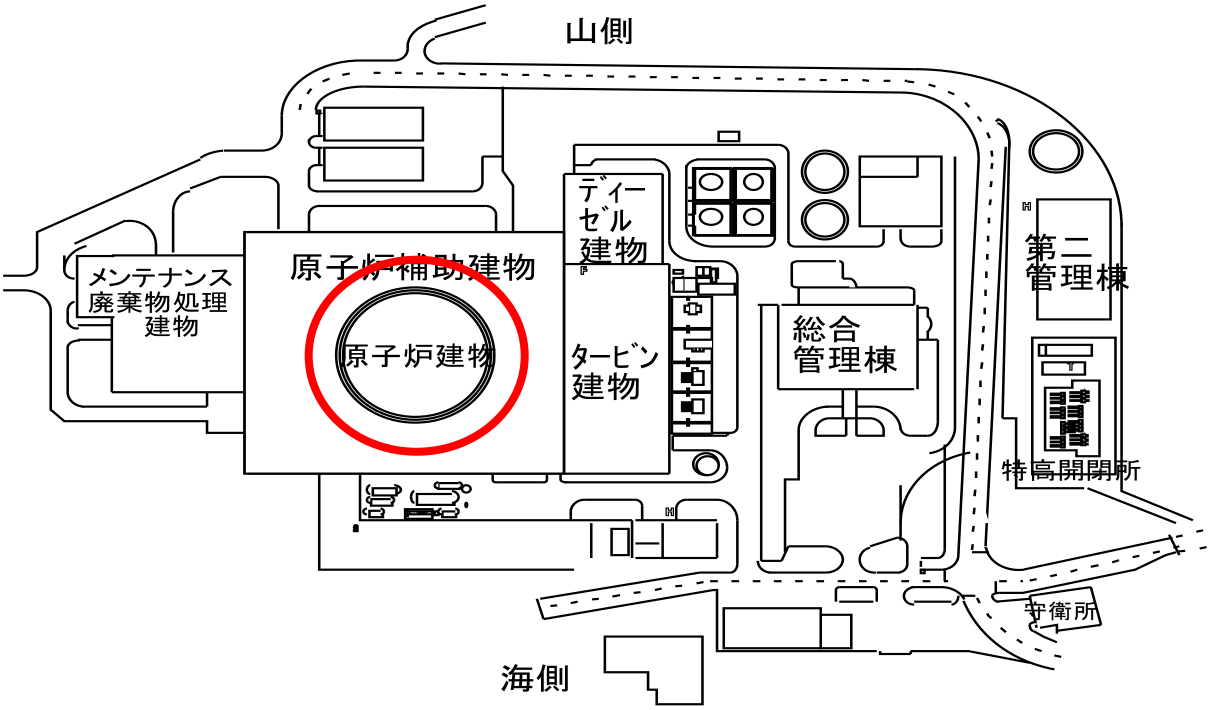
| 用語 | 説明 |
|---|---|
| ワイヤロープ | 炭素鋼線を数十本よりあわせて子縄とし、その子縄をさらに心縄の周りに数本より合わせて作ったロープ |
| ワッシャ | ボルトとナットの締め付け時に緩み止めとして用いる部品 |
| 割りピン | ヘアーピンのような形状で 2 方向に曲げてねじなどが抜けないようする部品 |

添付資料一覧

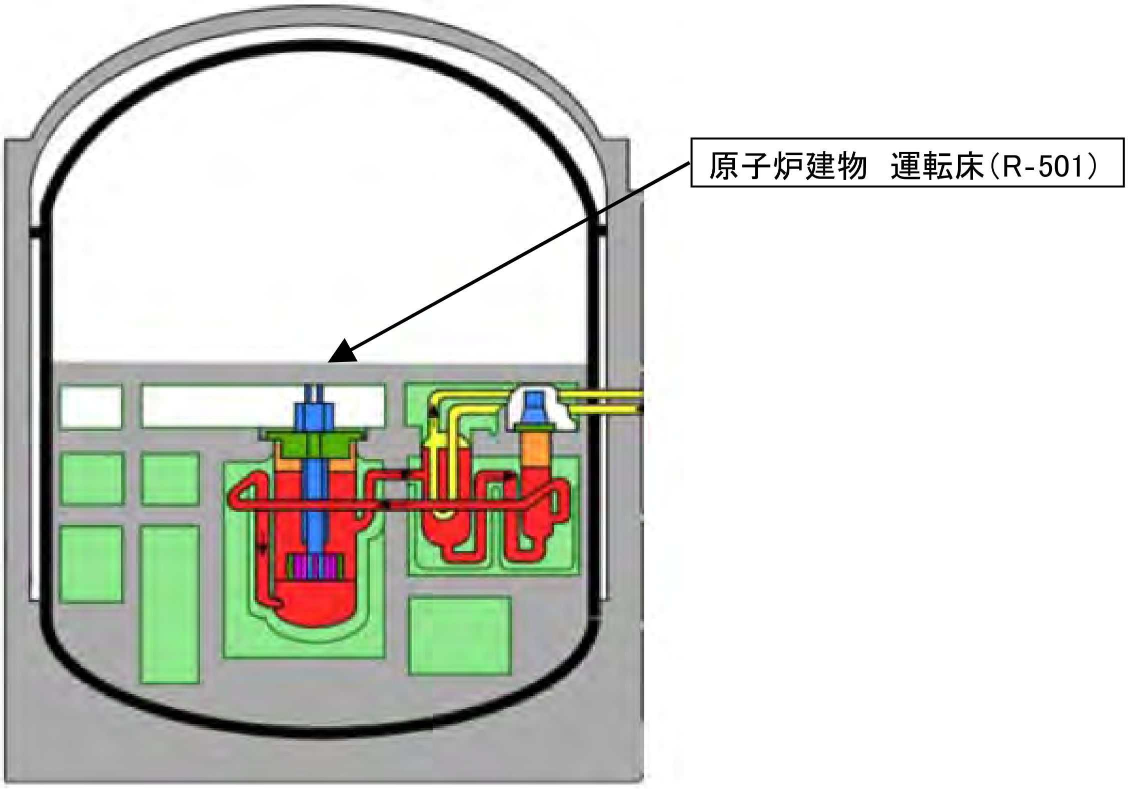

| | |
|---|---|
| 添付資料-3-1 | 建物配置 |
| 添付資料-6-1 | 燃料交換設備、IVTM及びAHMの概念図 |
| 添付資料-6-2 | AHMグリッパの構造 |
| 添付資料-6-3 | 主な時系列 |
| 添付資料-7-1 | 排気筒モニタチャート |
| 添付資料-8-1 | IVTMの全体鳥瞰図 |
| 添付資料-8-2 | AHM全体図 |
| 添付資料-8-3 | AHMグリッパ構造図 |
| 添付資料-9-1 | IVTM本体引き抜き作業中断に伴い実施した構造評価及び観察 |
| 添付資料-9-2 | 上部案内管下端部と燃料出入孔スリーブとの干渉 |
| 添付資料-9-3 | 上部案内筒（内面）観察状況 |
| 添付資料-9-4 | IVTM本体の全体外観に係る点検調査結果 |
| 添付資料-10-1 | IVTM本体落下の要因分析 |
| 添付資料-10-2 | 爪開閉ロッド回転に関する要因分析表 |
| 添付資料-10-3 | 燃料交換後始末作業報告書抜粋（AHM据付） |
| 添付資料-10-4 | 運転操作に関する聞取り調査結果 |
| 添付資料-10-5 | IVTM本体落下時のAHMグリッパ昇降荷重チャート（平成 22 年 8 月 26 日） |
| 添付資料-10-6 | AHMの吊り・不吊り判定について |
| 添付資料-10-7 | AHMグリッパの外観調査結果（現地） |
| 添付資料-10-8 | AHMグリッパの分解調査結果（現地） |
| 添付資料-10-9 | AHMグリッパの分解調査結果（爪開閉ロッド） |
| 添付資料-10-10 | AHMグリッパの分解調査結果（グリッパ爪） |
| 添付資料-10-11 | AHMグリッパの分解調査結果（爪開閉ロッドガイドブッシュ） |
| 添付資料-10-12 | AHMグリッパの分解調査結果（パワーシリンダ） |
| 添付資料-10-13 | 爪開閉ロッドの加振試験について |
| 添付資料-10-14 | 爪開閉ロッドの動作再現試験 |
| 添付資料-10-15 | IVTM本体落下の推定メカニズム |
| 添付資料-10-16 | AHMグリッパの片吊り |
| 添付資料-10-17 | IVTM本体吊り上げ状態 |
| 添付資料-10-18 | IVTM本体落下直前の状態 |
| 添付資料-10-19 | AHMグリッパ、IVTM本体及び上部案内筒各部状態 |
| 添付資料-11-1 | AHM設計時の主な機能要求事項 |
| 添付資料-11-2 | AHMグリッパ構造の設計の考え方 |
| 添付資料-11-3 | 設計及び製作の時系列及び調査結果 |
| 添付資料-11-4 | 爪開閉ロッドに回転トルクが発生しないと考えた理由 |

添付資料-11-5　AHMの使用実績及び点検実績の調査結果
添付資料-11-6　AHMグリッパの保守管理の調査結果
添付資料-11-7　パワーシリンダのロッドとU字金具間の寸法測定
添付資料-11-8　パワーシリンダ交換の時系列及び調査結果
添付資料-11-9　AHMグリッパの設計、製作・据付、運用に関する問題点と対策
添付資料-13-1　AHMグリッパ離脱防止対策
添付資料-13-2　AHMグリッパの恒久対策の検討について
添付資料-13-3　吊り・不吊り支援機能の概要
添付資料-13-4　点検窓の追加
添付資料-14-1　落下防止対策の確認対象設備

添付資料-3-1：建物配置

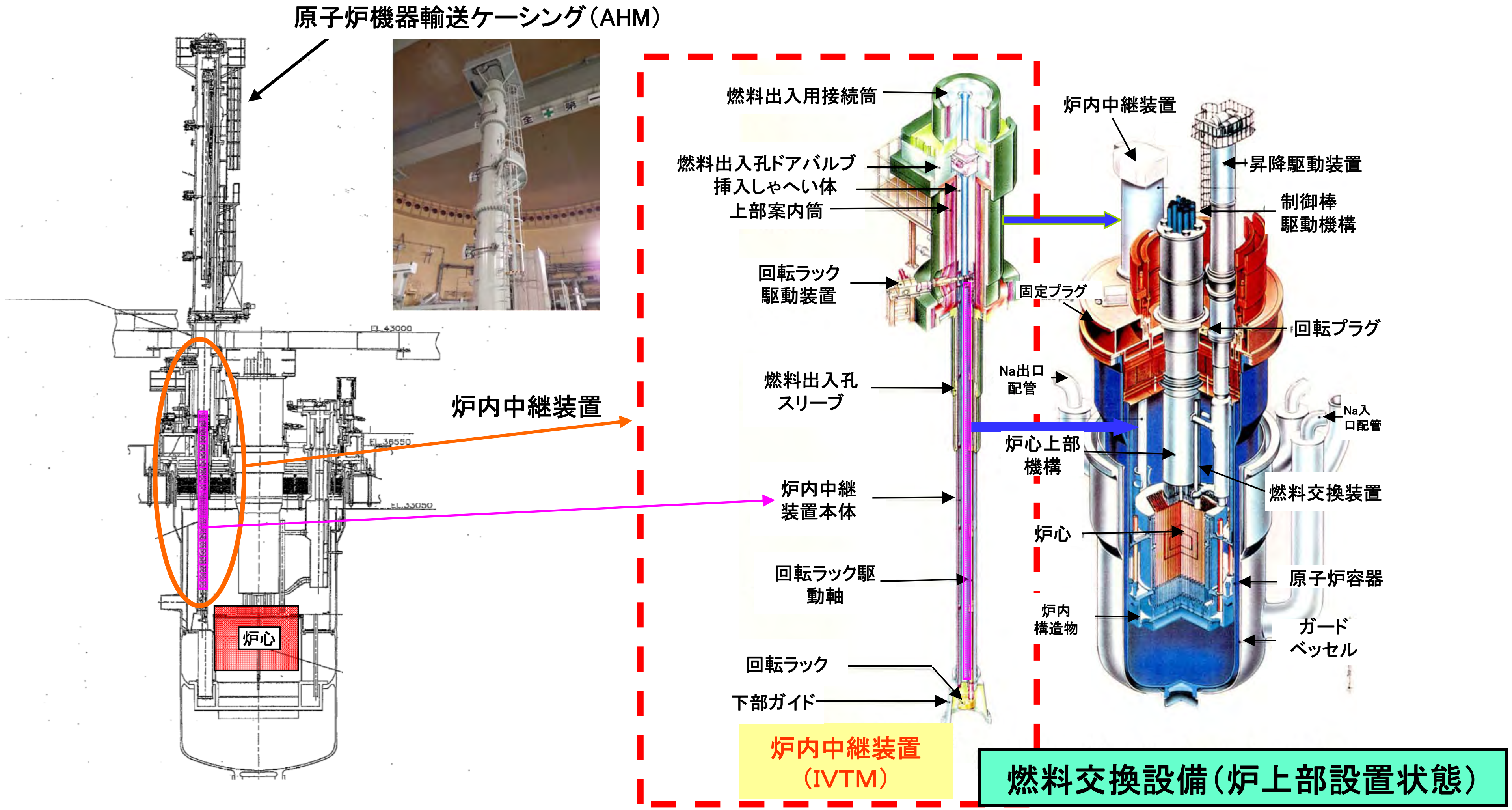



もんじゅ建物全体概要図

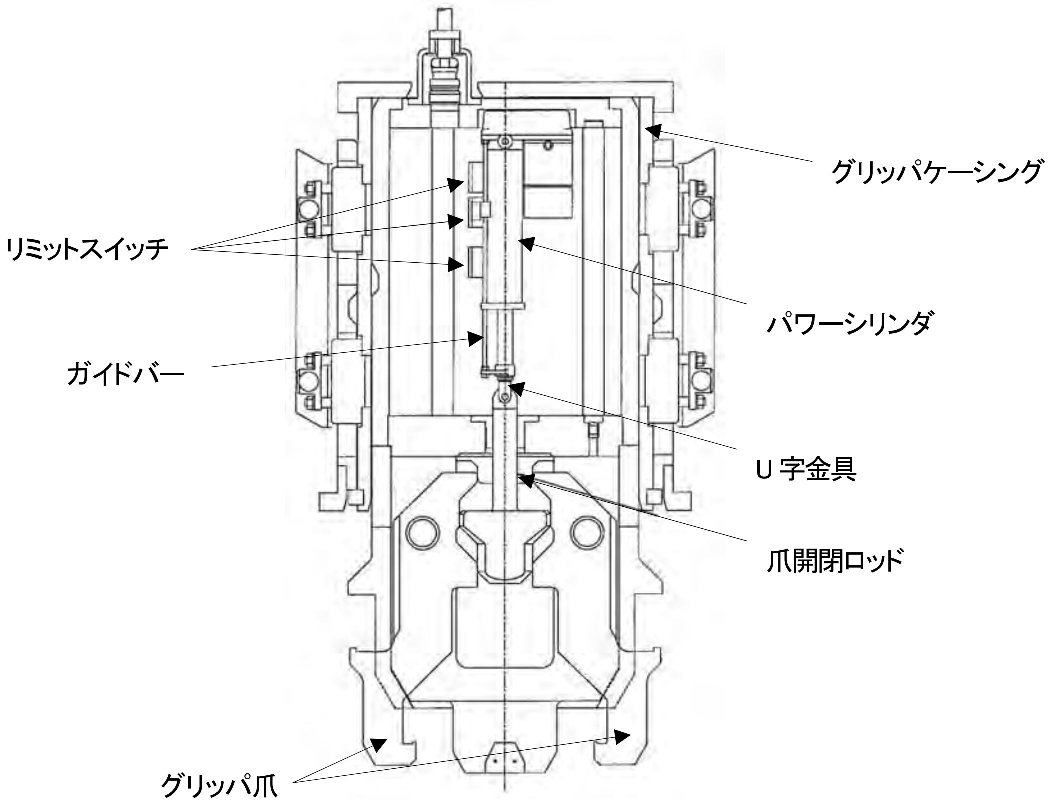


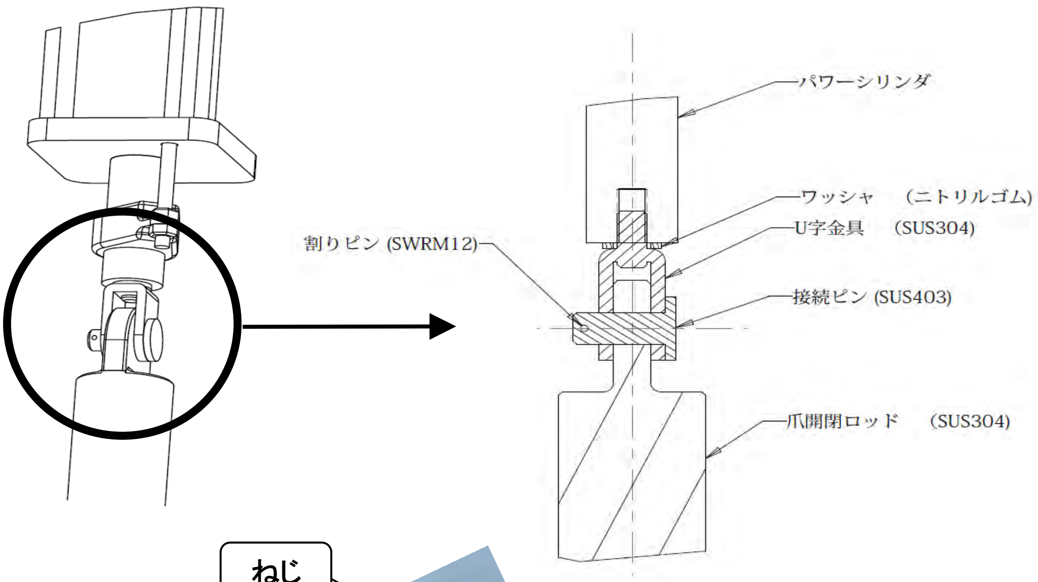

原子炉建物全体概要図

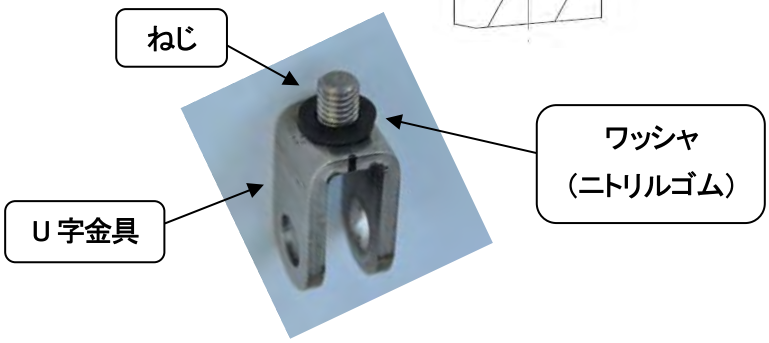
添付資料-6-1：燃料交換設備、IVTM及びAHMの概念図



## 添付資料−6−2：AHMグリッパの構造



## 添付資料-6-3:主な時系列

主な時系列
平成22年8月26日
14時00分頃　AHMによるIVTM本体の取り外し作業
（吊り上げ作業）を開始
14時26分頃　AHMグリッパ下降開始
（グリッパのみの荷重　約5,000N）
14時35分頃　AHMグリッパ着座確認
（「挿入完了位置」ランプ点灯確認）
14時37分頃　AHMグリッパによりIVTM本体のつかみ操作
（「つかみ」ランプ点灯確認）
14時40分頃　AHMグリッパ上昇開始
（グリッパ荷重＋IVTM本体荷重　約37,800N）
14時48分頃　原子炉容器内より約2m吊り上げたところで、吊り荷重が約5,000Nまで急減し衝突音を確認。AHMの現場操作盤にて「荷重超過」（低）警報発報。

8月27日
04時30分頃　AHMグリッパを床ドアバルブ上部へ移動（巻上開始）
08時28分　燃料出入孔ドアバルブの閉止
09時22分　原子炉容器カバーガス圧力の降圧操作開始
10時33分　原子炉容器カバーガス圧力の降圧操作終了
14時14分　原子炉容器カバーガス圧力の降圧解除

8月29日
10時00分頃　AHMグリッパの外観調査の実施
10時15分　爪開閉ロッドが約90°回転していることを確認

8月30日～9月1日
IVTM本体の頂部を観察
（IVTM本体の頂部にすり傷を確認、IVTM本体が正規の位置にあることを確認）

9月2～3日
AHMグリッパの点検の実施
（2つあるグリッパ爪のうち、片方のグリッパ爪にずれ痕を確認）
（U字金具の締め付け部の緩みを確認）

9月4日
AHMグリッパ爪、爪開閉ロッド等の詳細調査のため工場搬送

9月10～11日
IVTM本体の頂部を詳細観察
（IVTM本体のハンドリングヘッド内側垂直面においてすり痕を確認）

9月21日
グリッパ爪、爪開閉ロッド等の新規製作品搬入

9月21～28日
AHMのつかみ機構に爪開閉ロッドの廻り止め対策を実施
（一枚板タイプの当て板構造およびU字金具のねじに接着剤により廻り止めを実施）
（AHMグリッパの振動測定を実施）

10月1日

中間報告書「高速増殖原型炉もんじゅの炉内中継装置取り出し作業の中断についての報告について」提出

10月4日

10時00分頃　AHMによるIVTM本体引き抜き作業開始
10時15分頃　AHMグリッパ下降開始
（「引抜き完了位置」から「挿入完了位置」まで）
10時22分頃　挿入完了位置手前（グリッパストローク18.81m）で「荷重超過」警報が発報し、AHMグリッパ下降が自動停止
（荷重超過（4413N以下）後瞬時に約5000Nへ復帰）
20時04分頃　AHMによるIVTM本体引き抜き作業を中断し、AHMグリッパ上昇開始
（グリッパストローク18.81mから「引抜き完了位置」まで）
20時32分頃　AHMグリッパ上昇「引抜き完了位置」まで完了
（グリッパストローク0.05m）

10月5～11日

AHMグリッパ荷重信号に係るノイズ対策を実施
（シーケンサ制御装置のソフトロジックを改造）

10月13日

10時05分頃　AHMによるIVTM本体引き抜き作業開始
10時49分頃　AHMグリッパ下降開始
（「引抜き完了位置」から「挿入完了位置」まで）
11時25分頃　AHMグリッパIVTMつかみ操作完了後、AHMグリッパ上昇開始（「挿入完了位置」から「引抜き完了位置」まで）
13時01分頃　「荷重超過」警報（警報設定値 3890kg）が発報し、AHMグリッパ上昇が停止（グリッパストローク16.73m）
以降、作業要領書（「荷重超過」警報設定値を 100kg ずつ段階的に上げて引き抜く操作を繰り返す）に従い引抜き荷重の警報設定値を段階的に引き上げ、IVTMの引き抜き作業を継続
19時15分頃　「荷重超過」警報（警報設定値 4800kg）が発報し、AHMグリッパ上昇が停止（グリッパストローク16.72m）
19時20分頃　AHMによるIVTM本体引き抜き作業の中断を判断
20時56分　燃料出入孔ドアバルブ全閉、作業終了

10月14日～11月8日

IVTM内面観察準備を実施
（内面観察装置工場製作・搬入を実施）
（内面観察装置据付け・調整を実施）

11月9日

10時03分頃　IVTM内面観察（上部）開始
11時00分頃　IVTM内面観察（上部）終了
13時14分　IVTMに有意な変形を確認し、研究開発段階炉規則第43条の14第3号に基づく法令報告事象（原子炉施設の安全を確保するために必要な機能を有していない）と判断

11月16日

09時00分　IVTM外面観察作業開始
15時36分　予備孔ゲート弁(ドアバルブ)開
18時21分　IVTM外面観察開始
19時44分　IVTM外面観察終了

21 時 28 分　　炉内より観察装置を引き抜き、予備孔ゲート弁(ドアバルブ)閉止
22 時 25 分　　IVTM外面観察作業終了

11 月 18 日
「高速増殖原型炉もんじゅ　炉内中継装置の落下による変形について」原子炉施設故障等報告書を提出(法令報告)

12 月 16 日
炉内中継装置異常状況連絡書を提出
（IVTMと燃料出入孔スリーブ一体引抜き作業手順・工程を公表）
IVTM本体一体引抜き事前調査開始

平成 23 年 2 月 21 日
IVTM一体引抜準備作業開始

5 月 14 日
IVTM本体一体引抜作業準備開始

5 月 24 日
IVTMハンドリングヘッド用閉止プラグ取付け

5 月 25 日
上部案内筒用閉止プラグ取付け

5 月 26 日～5 月 30 日
燃料出入孔ドアバルブ取外し

6 月 2 日～6 月 7 日
上部案内筒取外し

6 月 10 日
一体引抜用案内管、可動式仕切板等設置

6 月 15 日～6 月 16 日
IVTM本体内へIVTM本体保持具挿入・装着

6 月 18 日
IVTM本体及び燃料出入孔スリーブ一体でのジャッキアップ（ジャッキ治具・受台）による地切確認（地切 3 回実施）

6 月 20 日～6 月 23 日
IVTM本体及び燃料出入孔スリーブ一体引抜き準備（簡易キャスク取付け、アルゴンガス置換等）

6 月 23 日～6 月 24 日(IVTM及び燃料出入孔スリーブ一体引抜き)
IVTM本体及び燃料出入孔スリーブ一体引抜き
（引抜き後、炉上部からピットへ移送し、冷却後起立転倒治具へ設置）

6 月 25 日
IVTM本体及び燃料出入孔スリーブ一体引抜き後固定プラグ内面観察

6 月 30 日～7 月 1 日
固定プラグへ出入孔閉止プラグ設置

6 月 30 日～7 月 2 日
IVTM本体及び燃料出入孔スリーブ一体でのナトリウム洗浄(共通保修設備)
7 月 2 日
燃料出入孔スリーブ据付部 O リング交換

7 月 2 日～7 月 29 日
ナトリウム洗浄後IVTM本体及び燃料出入孔スリーブ点検（ルースパーツ確認含む）

8 月 29 日
炉上部復旧作業準備開始

9 月 2 日
使用前検査　外観検査（燃料出入孔スリーブ、上部案内筒、燃料出入孔ドアバルブ）

9 月 7 日
固定プラグから出入孔閉止プラグ引き抜き

9 月 9 日
固定プラグへ燃料出入孔スリーブ及び燃料出入孔プラグを一体で据付け

9 月 11 日
炉上部から一体引抜用案内管、可動式仕切板等仮設機器撤去

9 月 13 日
使用前検査　据付外観検査（燃料出入孔スリーブ）

9 月 13 日～9 月 21 日
上部案内筒しゃへい体復旧、炉上部窒素ガス系配管、熱電対等復旧等

9 月 22 日～9 月 23 日
炉上部へ上部案内筒据付け

9 月 26 日～10 月 3 日
上部案内筒しゃへい体復旧、炉上部窒素ガス系配管復旧等

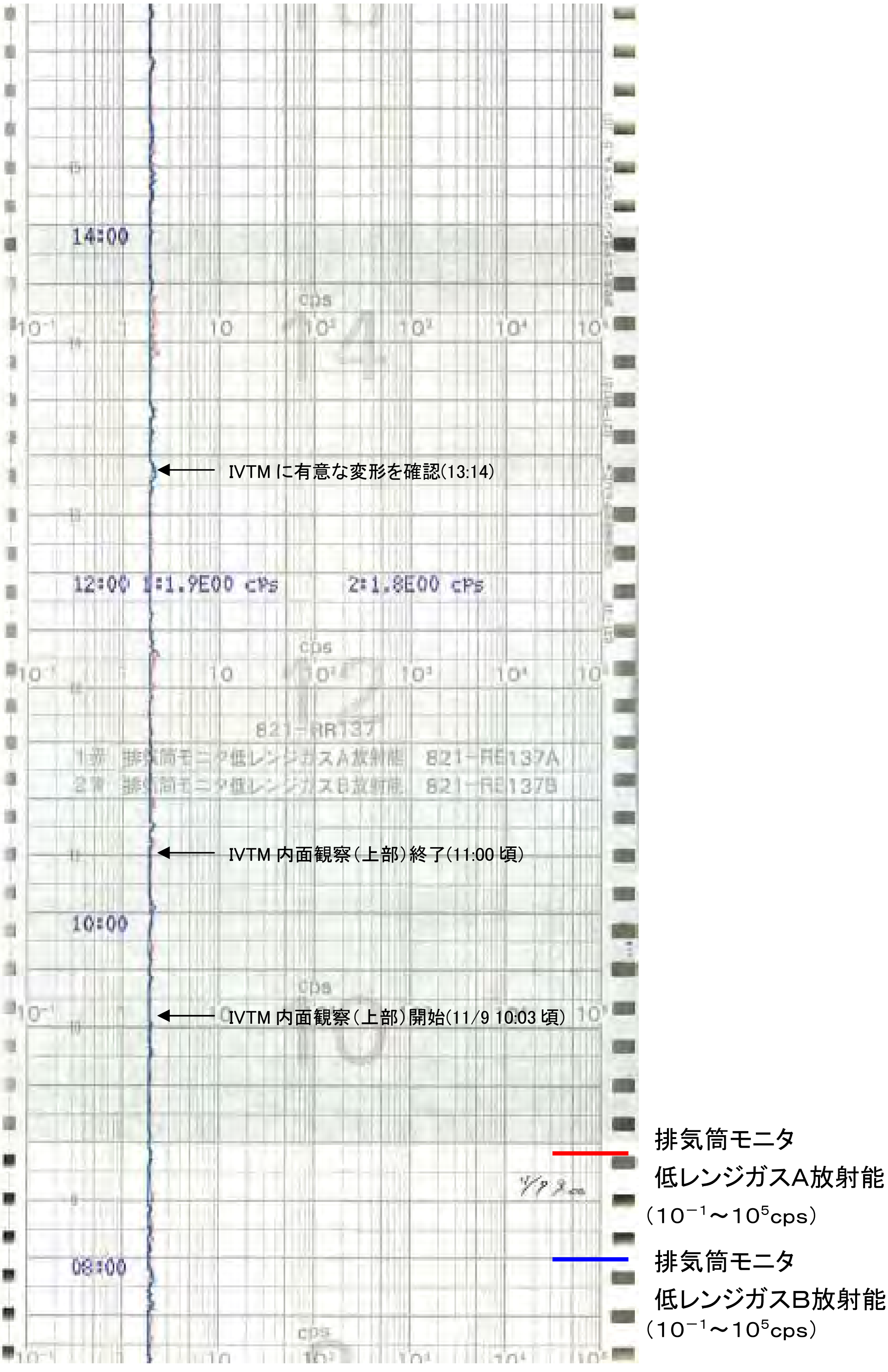
10 月 4 日～10 月 8 日
炉上部へ回転ラック駆動装置据付け

10 月 11 日～10 月 12 日
上部案内筒上へ燃料出入孔ドアバルブ据付け

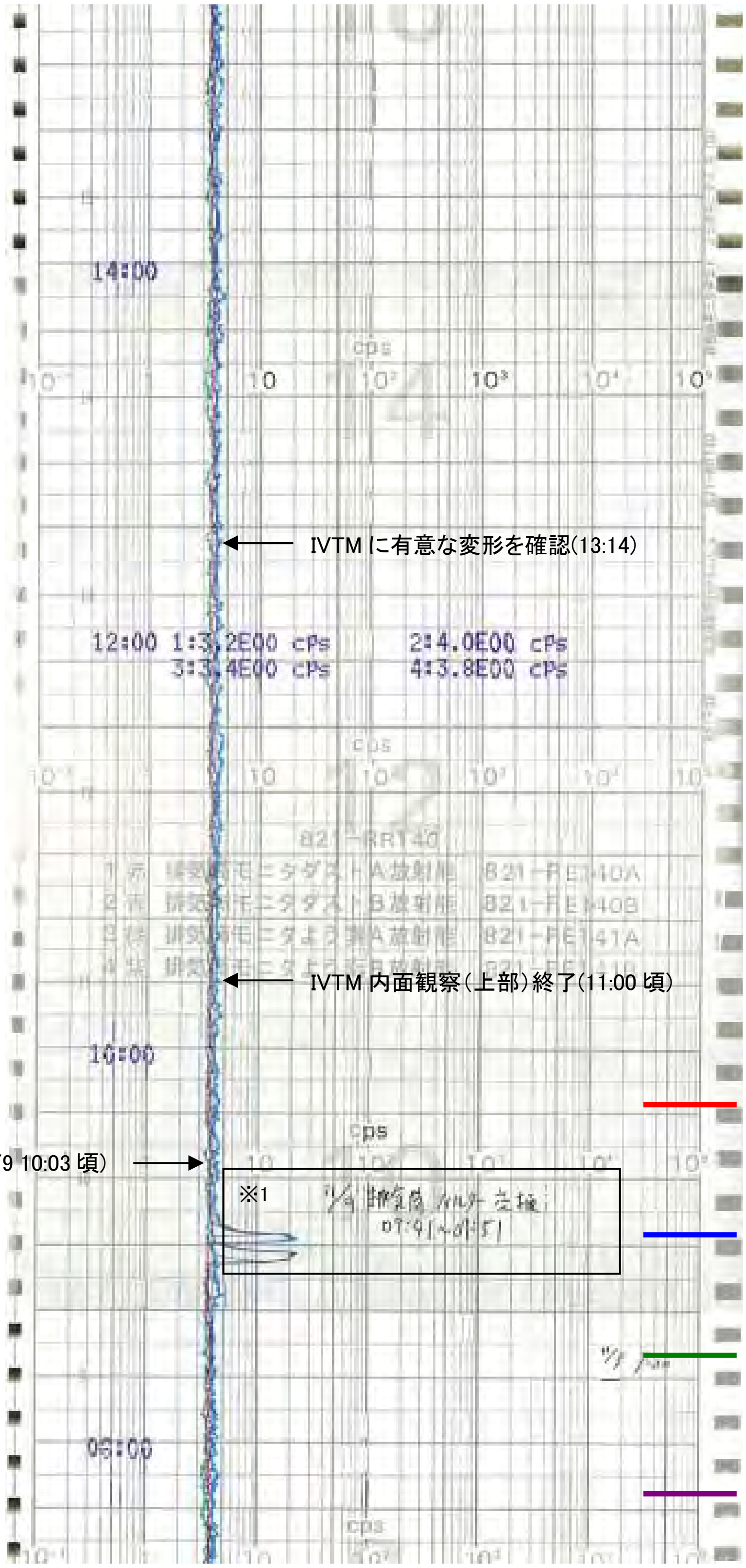
10 月 13 日～10 月 25 日
上部案内筒、燃料出入孔ドアバルブ廻りしゃへい体復旧、炉上部アルゴンガス系配管、油圧系配管復旧等

11 月 11 日
炉上部復旧作業終了

## 排気筒モニタ　低レンジガスモニタ



## 排気筒モニタ ダスト、よう素モニタ




排気筒モニタ
ダストA放射能
（$10^{-1}$～$10^{5}$cps）

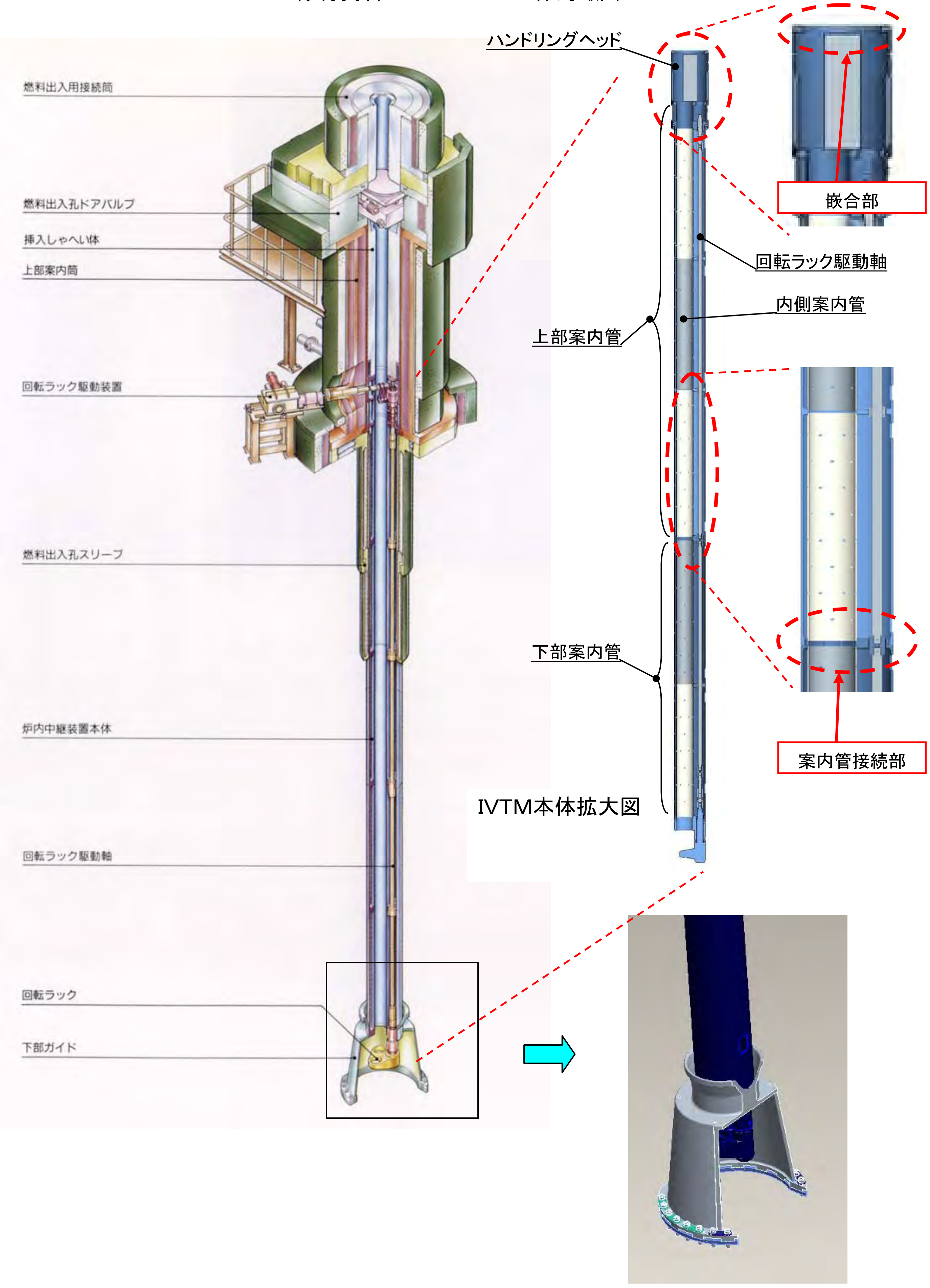
排気筒モニタ
ダストB放射能
（$10^{-1}$～$10^{5}$cps）

排気筒モニタ
よう素B放射能
（$10^{-1}$～$10^{5}$cps）

排気筒モニタ
よう素B放射能
（$10^{-1}$～$10^{5}$cps）

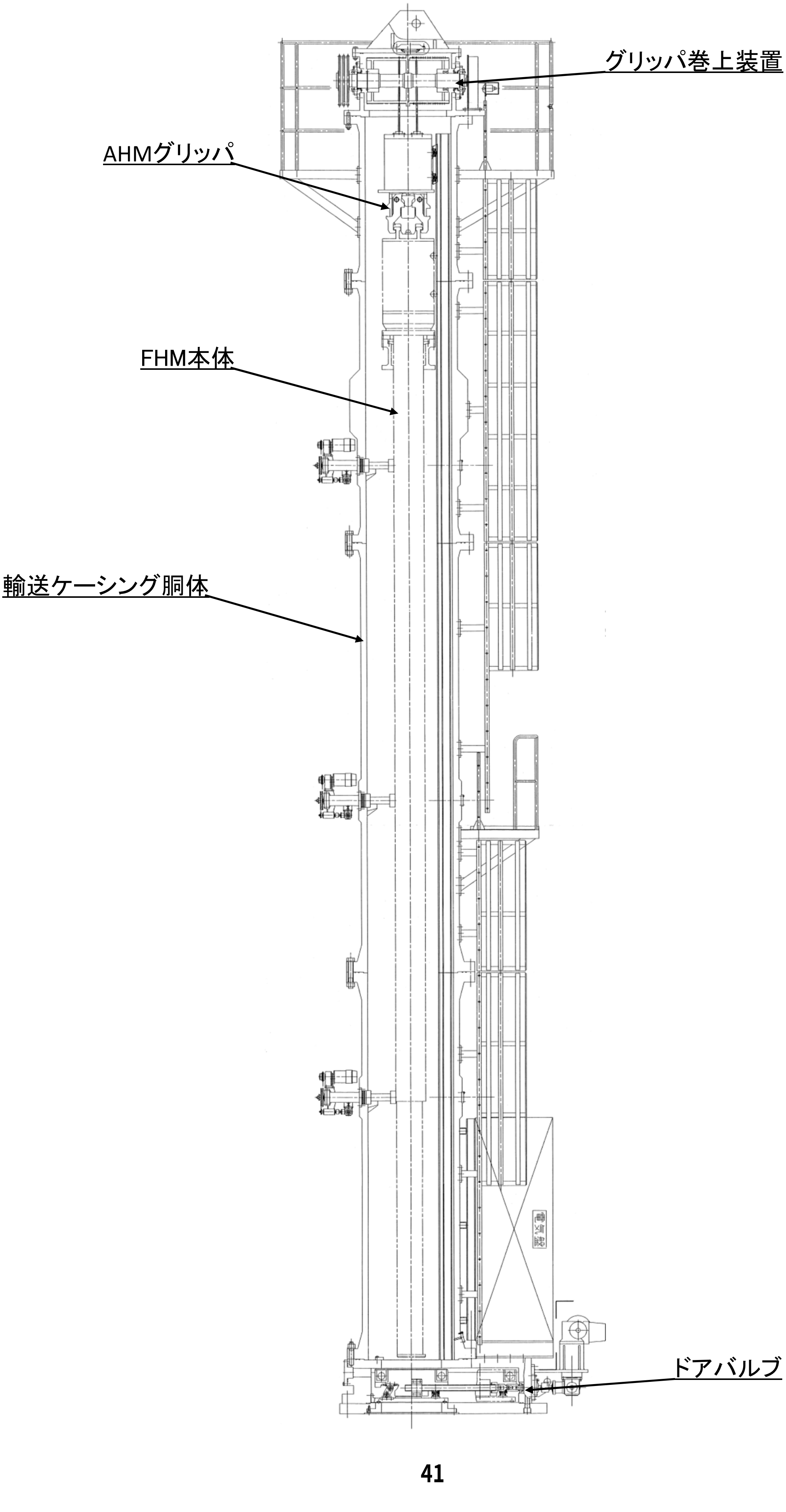
※1 ﾌｨﾙﾀｰ交換作業による
指示変動のための記載

添付資料-8-1:IVTM の全体鳥瞰図

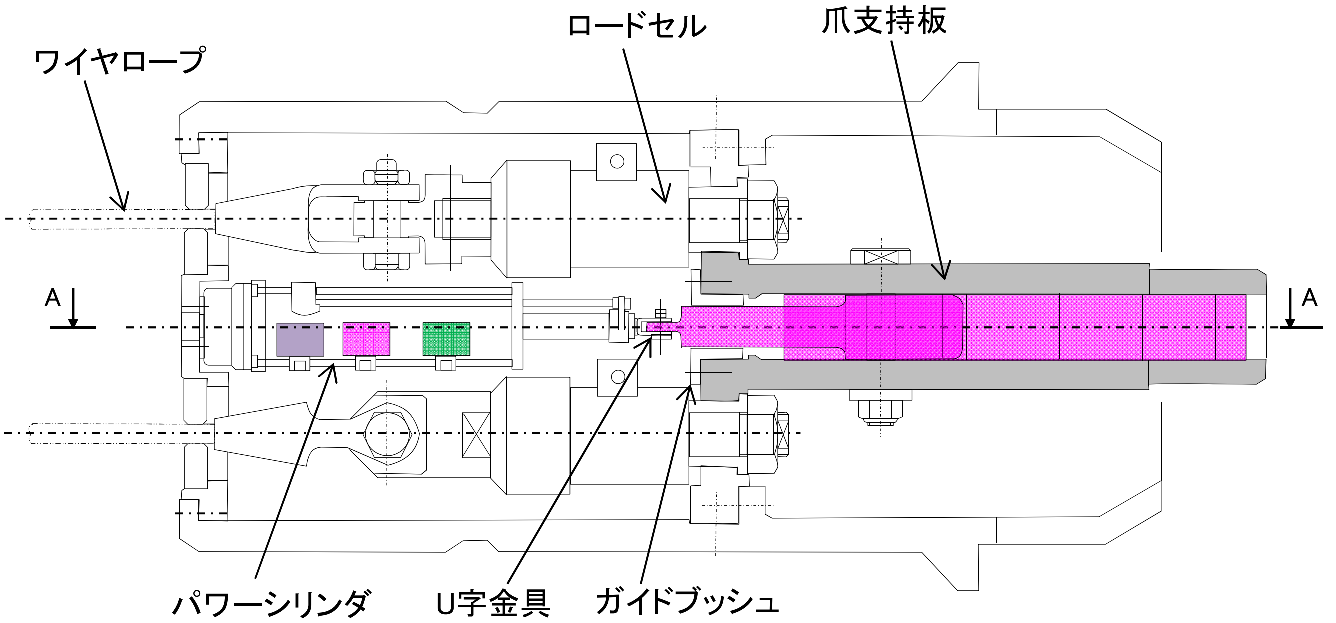


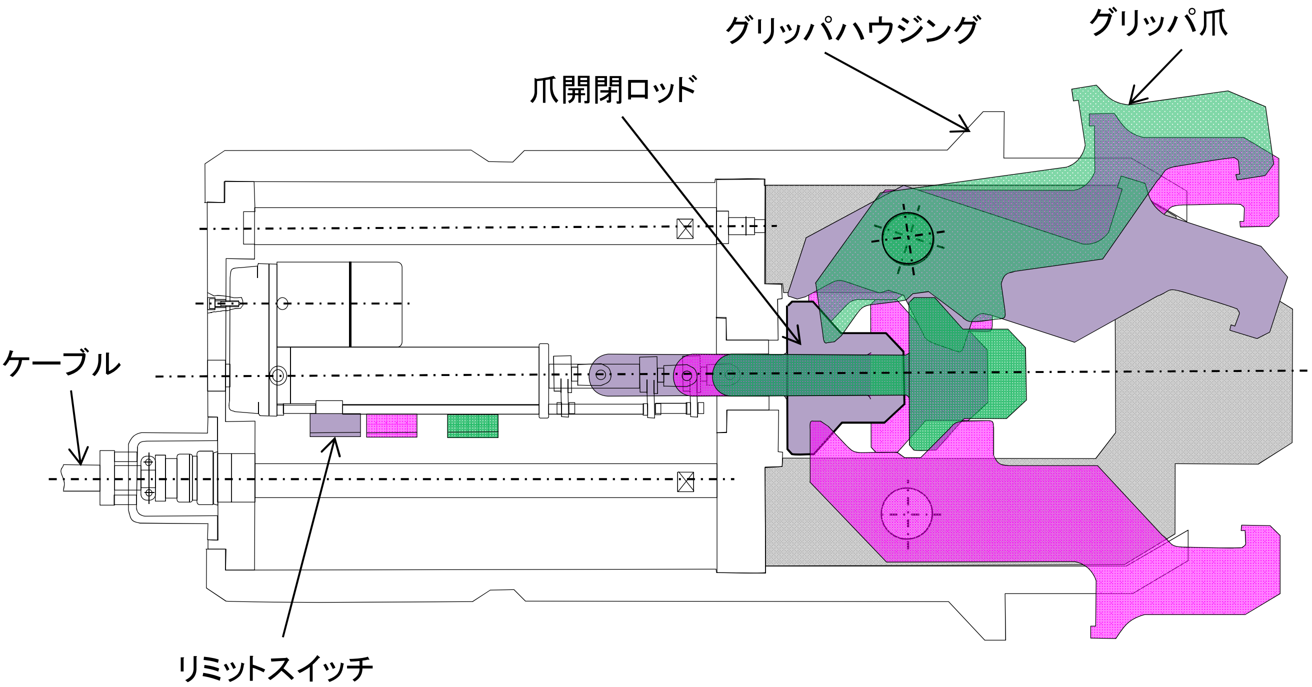

下部ガイド拡大図

添付資料-8-2:AHM全体図

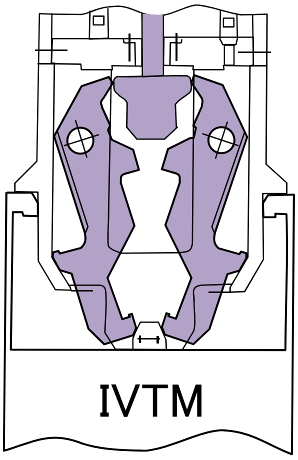


添付資料-8-3:AHMグリッパ構造図

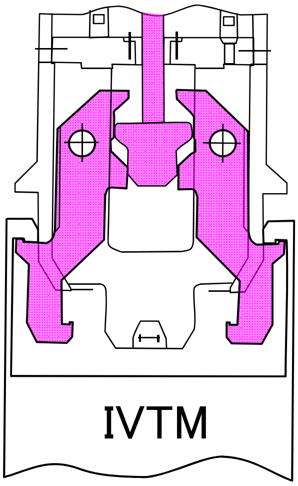



A-A 断面

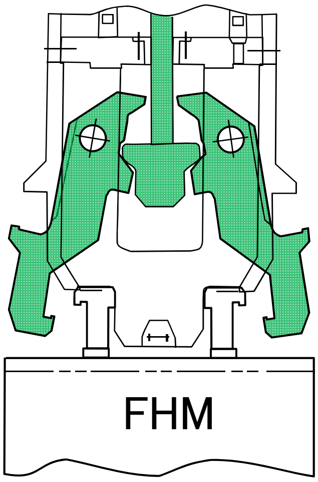



離し時

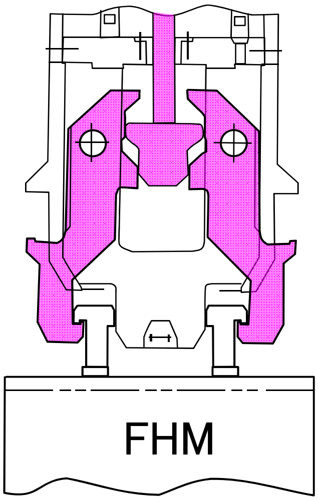



つかみ時

外つかみ状態




離し時




つかみ時

内つかみ状態

## 添付資料-9-1:IVTM本体引き抜き作業中断に伴い実施した構造評価及び観察

原子炉容器内に落下したIVTM本体が、AHMにて引き抜けなかった原因を特定するため、IVTM本体の構造解析評価を実施するとともに、その結果を踏まえIVTM本体の外観確認を実施した。

### 1. IVTM本体引抜き作業中断に伴い実施した構造評価

IVTM本体引抜き作業中断となった位置は、IVTM本体の上部案内管と下部案内管の接合部が燃料出入孔スリーブの下端部(狭隘部:片側で約 2.5mm)近傍を通過する位置であった。このため、IVTM本体を引き抜く際に干渉したと推定される案内管接続部について、構造評価を実施した。

(1) IVTM本体上部・下部案内管接続部の構造評価結果(IVTM本体の外観観察前)

IVTM本体が落下し燃料出入孔スリーブ上面と衝突した際は、上部・下部案内管接続部には接続部より下方に衝突荷重として約 140 トンの荷重が発生すると推定された。その荷重に基づき、接続部に発生する変形について有限要素法による構造解析を用いた評価を実施した。その結果、接続ピンが曲がり、上部案内管下端が半径方向(外側)に張り出すことが確認された(図-1(1/2))。

このとき、上部・下部案内管の隙間と上部案内管下端の外側への張り出し量はほぼ比例関係にあり、上部・下部案内管の隙間が外側で約 8 ㎜の場合、上部案内管下端の外側への張り出し量は約 5 ㎜になると推測された(図-1(2/2))。この外側への張り出し量は、燃料出入孔スリーブとの初期ギャップ 2.5mm よりも大きく、IVTM本体を引き抜く際に、接続ピンまたは上部案内管下端部が燃料出入孔スリーブと干渉する結果となった。

### 2. IVTM本体の外観観察

上記1. のIVTM本体の上部・下部案内管接続部の構造評価結果を踏まえ、案内管接続部の変形状況を確認するために、IVTM本体の外観観察を実施した。外観観察は、内側案内管の内面観察及び上部・下部案内管の接続部の外面観察を実施した。

(1) IVTM本体の内側案内管の内面観察

① 内面観察方法

内側案内管の内面観察は、内側案内管の接続部に着目し、上から 3 番目の内側案内管について、上側の仕切り板との隙間(ノミナル 5mm)及び下側の仕切り板との接続部の 2 箇所(観察窓から垂直方向約 9m 及び約 12m)をペリスコープによって内面全周(360°)を観察し、組み立て時に設けられた初期の

隙間の変化を観察、計測することによって、上部・下部案内管の接続部の隙間を推測することとした（図-2、3 参照）。

② モックアップ試験

実機での内面観察に先立ち、メーカ工場にて実際に使用する装置、現場環境（カバーガスの温度揺らぎ、ナトリウムベーパの影響など）等を模擬したモックアップ確認を行い、実機での観察が問題なく実施できることを確認した。

③ IVTM本体の内側案内管の内面観察結果（平成 22 年 11 月 9 日）

内面観察の結果、内側案内管（3）上部と仕切り板との間に設けられた上下方向の初期の隙間が約 5～7mm に対して、約 15mm に隙間が拡大していることを確認した。この約 8～10mm の隙間の拡大については、構造評価結果から、上部案内管下端の外側への張り出し量としては約 5mm と推測した（図-4、5 参照）。

(2) IVTM本体の上部・下部案内管の外面観察

① 外面観察方法

上部・下部案内管を直接観察する外面観察は、観察前に炉上部の他の貫通孔（予備孔）のプラグを引抜き、仮設の仕切弁（ドアバルブ）を設置後、ペリスコープを原子炉容器内に挿入することによって、予備孔から垂直約 9m、水平約 2.3m の長距離観察を実施した（図-6 参照）。

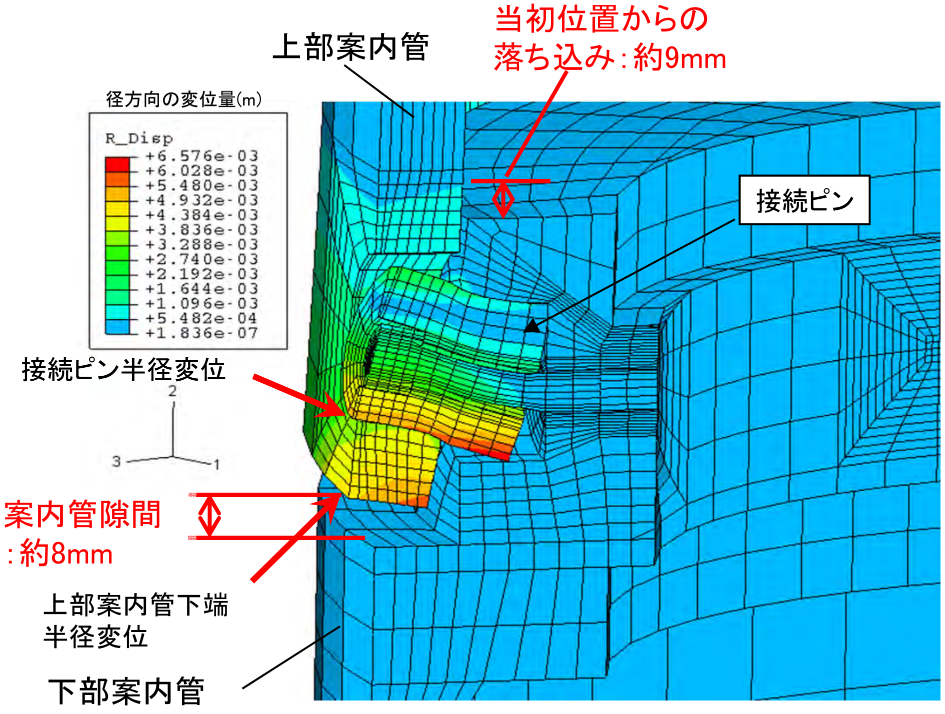
② モックアップ試験

外面観察についても、内面観察と同様にメーカ工場にて実際に使用する装置、現場環境（金属光沢面によるハレーション、ナトリウムベーパの影響、長距離観察での隙間計測精度など）等を模擬したモックアップ確認を行い、実機での観察が問題なく実施できることを確認した。

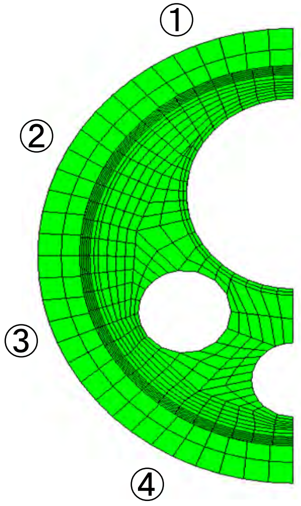
③ IVTM本体の上部・下部案内管の外面観察結果（平成 22 年 11 月 16 日）

外面観察の結果、上部・下部案内管の接続部の隙間が約 8mm であったため、構造評価結果から、上部案内管下端の外側への張り出し量としては約 5mm と推測した(図-7 参照)。

以上

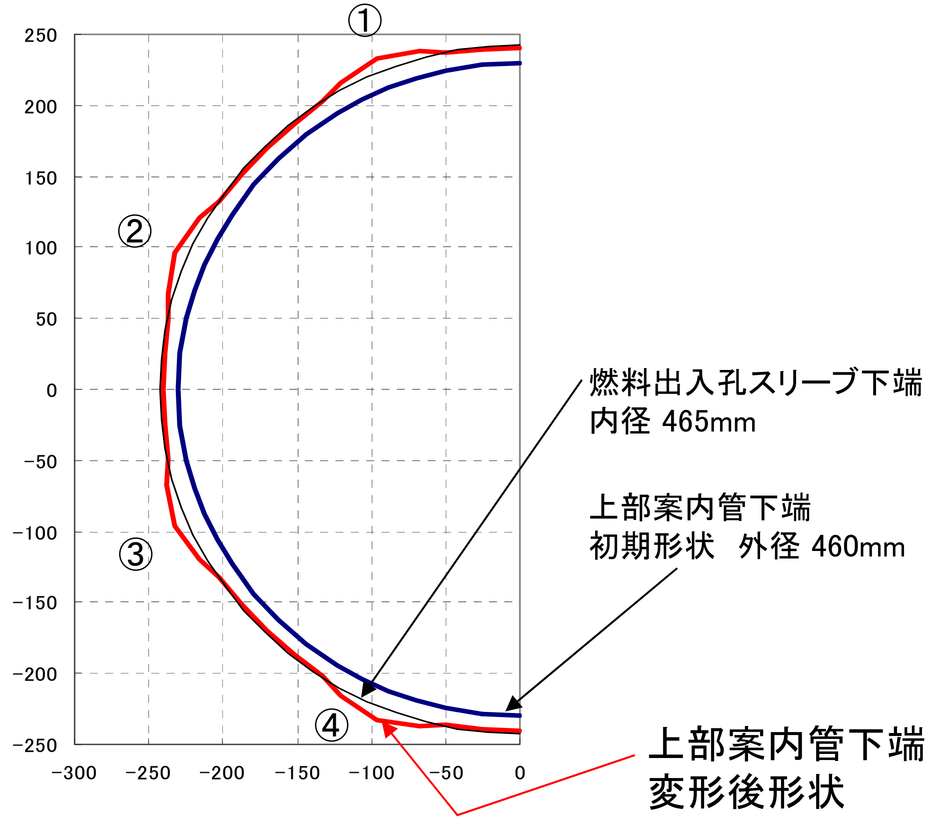



案内管接続部（断面）の変形




①～④は
接続ピン位置を示す

解析モデル（対称性を考慮して接続部を1/2でモデル化）

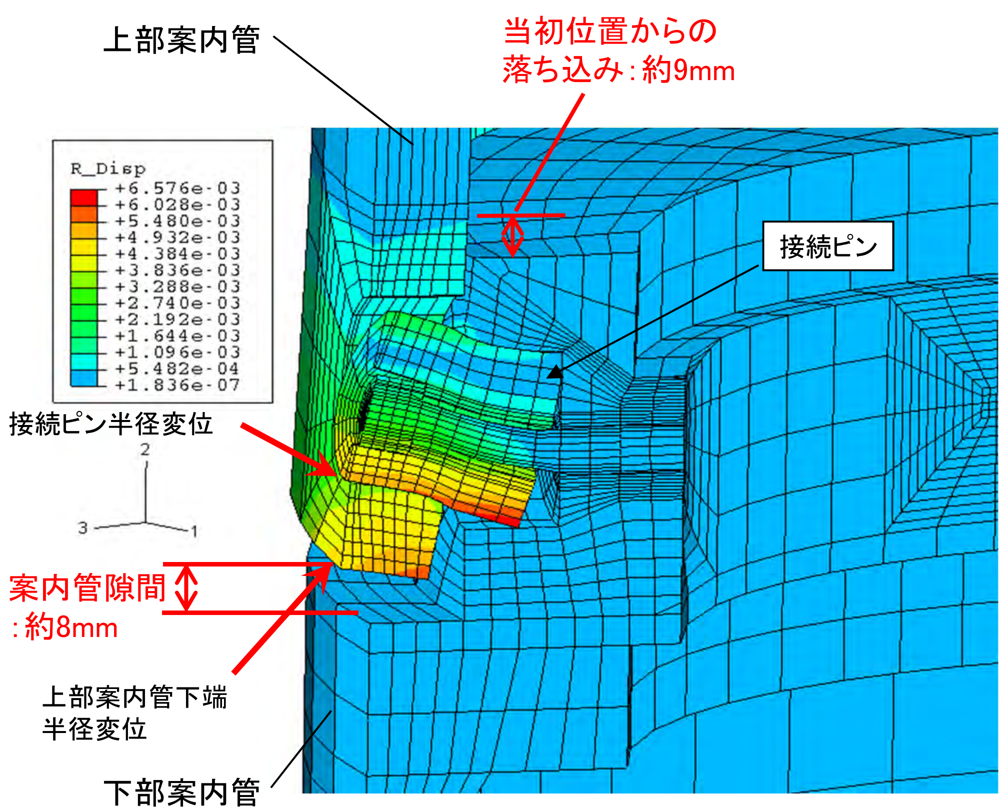



変形表示倍率5倍

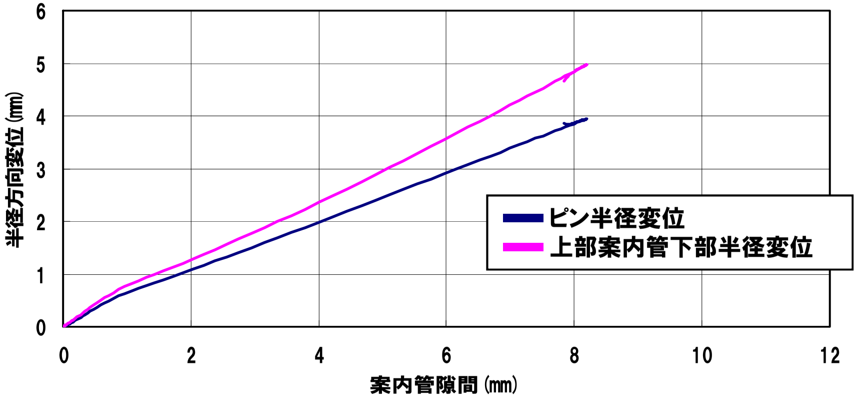
上部案内管下端（外周部）の変形

上部案内管は接続ピン近傍で最大5mm程度外側に張り出すため、
燃料出入孔スリーブと2～3mm干渉する。

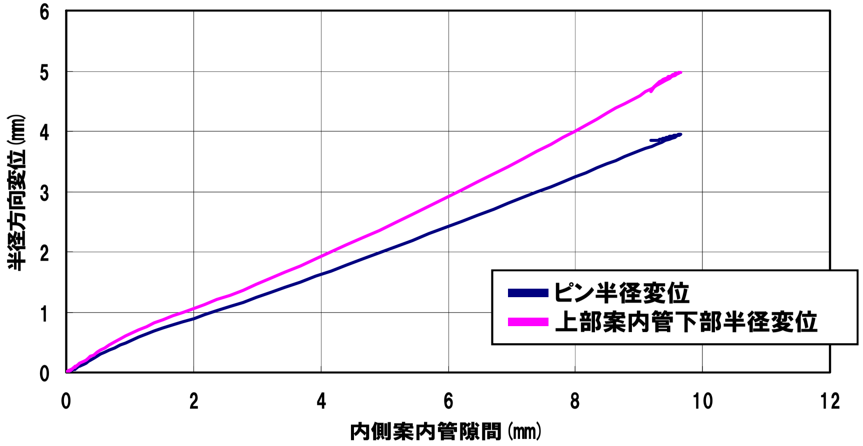
図−1（1/2）　案内管接続部の構造評価結果




案内管接続部（断面）の変形




案内管隙間と各部径方向変位の関係
（外側観察）

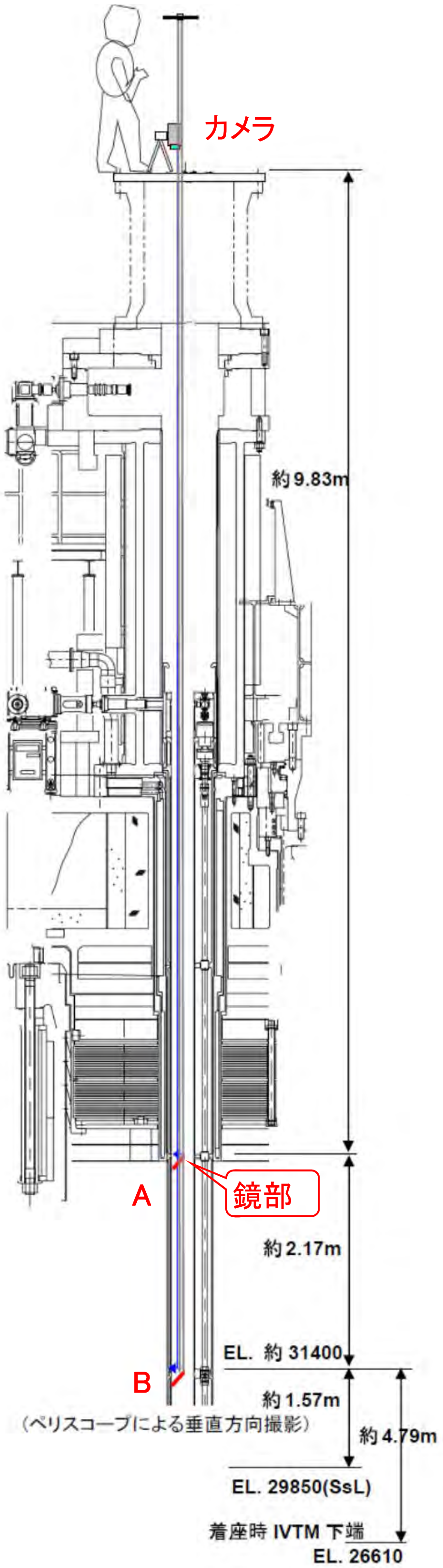


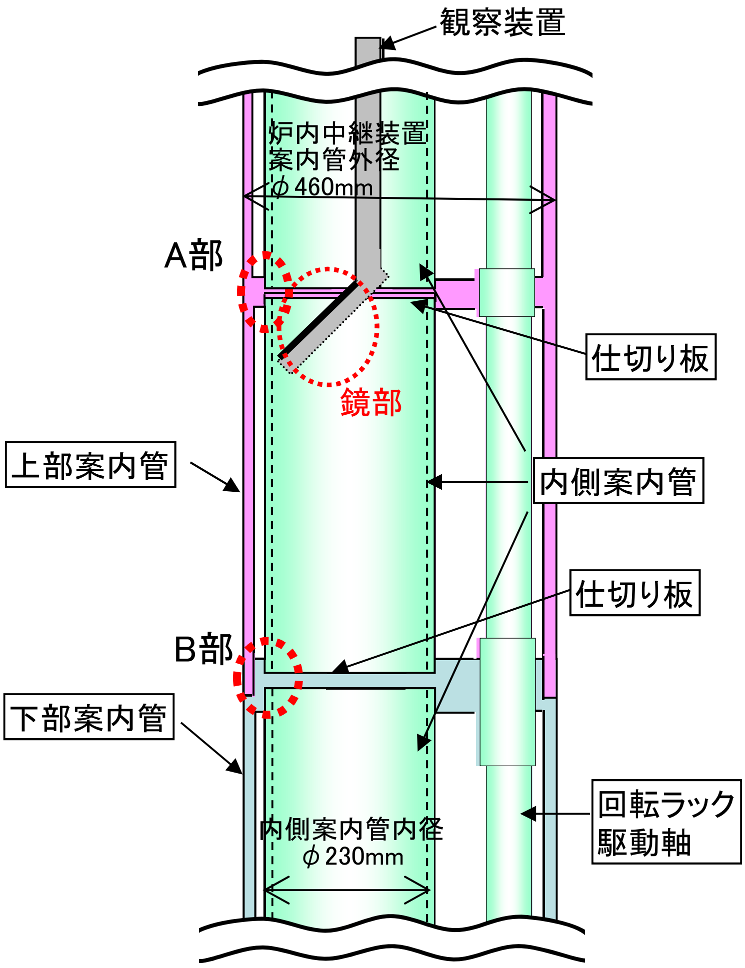

案内管隙間と各部径方向変位の関係
（03.02修正）（内側観察）

外側観察：上部・下部案内管の隙間が約8mmの場合、上部案内管下端は5mm程度外側に張り出すと推測される。

内側観察：上部・下部案内管の隙間が約9mmの場合、上部案内管下端は5mm程度外側に張り出すと推測される。

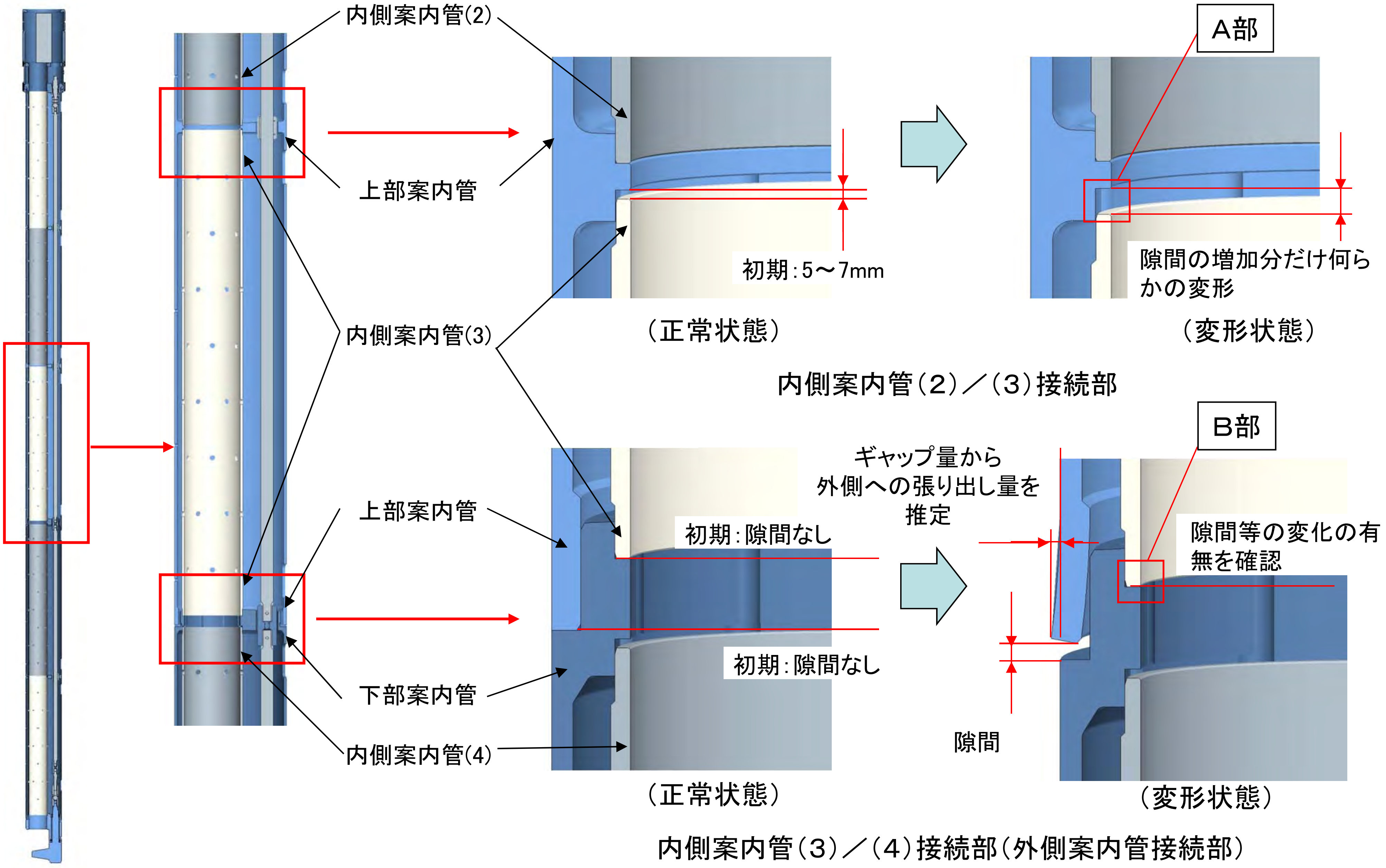
図−1（2/2）　案内管接続部の構造評価結果



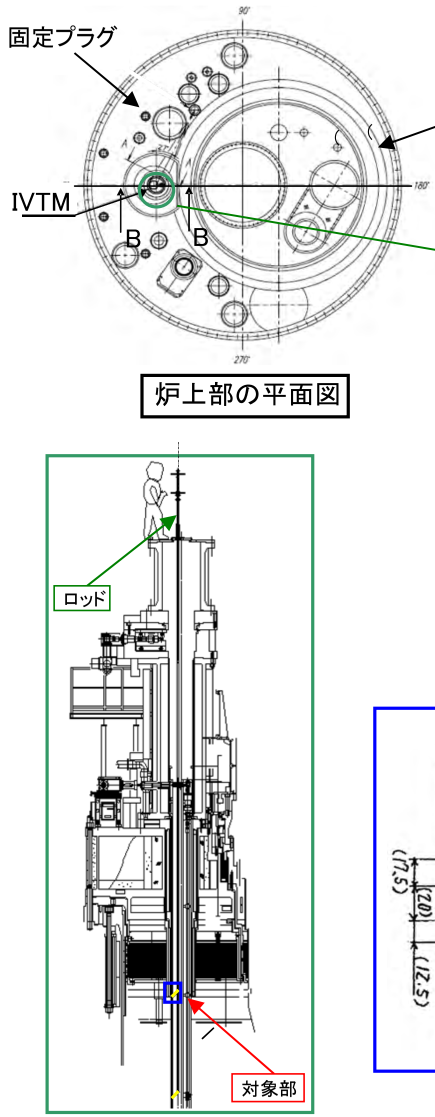

燃料出入孔ドアバルブの上部に設けた観察窓にペリスコープ（ステンレス鏡面仕上げの反射板（鏡部）と光学望遠鏡カメラの組み合わせ）を取り付け、IVTM本体の3段目の内側案内管の上端（A部）及び下端（B部）について、ペリスコープの鏡部を回転し全周方位（360°）を観察する。

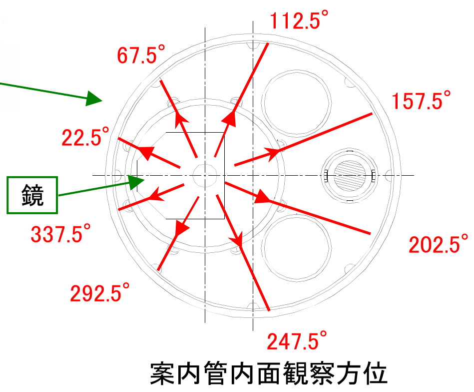
図－2　内面観察概念図

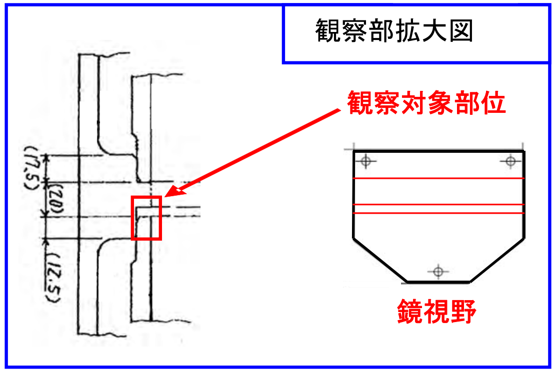



外観観察は内側案内管の上部・下部接続部に着目し、組み立て時に設けられた初期の隙間の変化を観察、計測することによって、上部案内管下端部の外側への張り出し量を推測する

図−3　IVTM本体案内管　観察位置



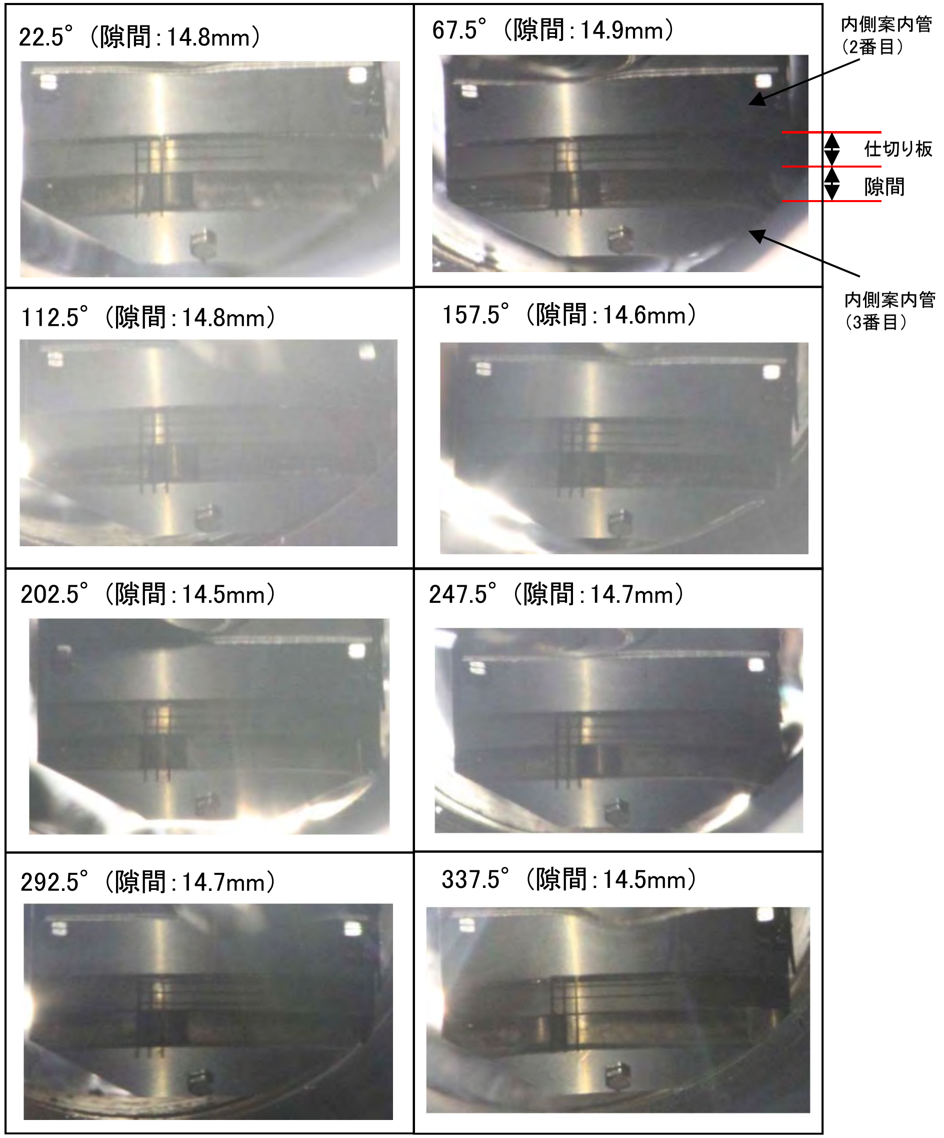
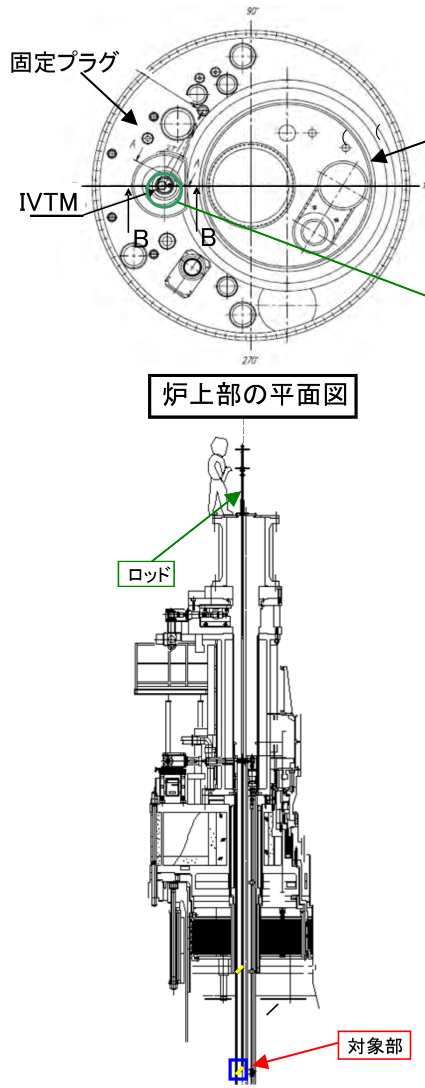
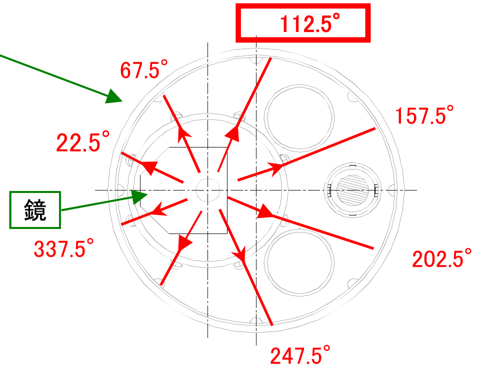




図-3のA部については、約15mm（初期：5～7mm ）に隙間が拡大していることを確認した。

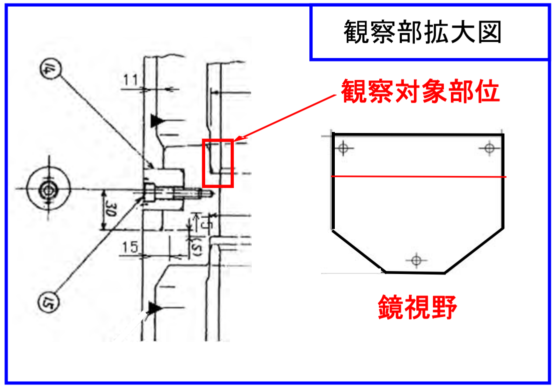
各方位で最大0.4mmの差があるが、隙間の大きい箇所が一定の方位に集中していないことから、接続部の曲がりが発生したものでなく、計測誤差によるものと判断した。

図-4　内面観察結果

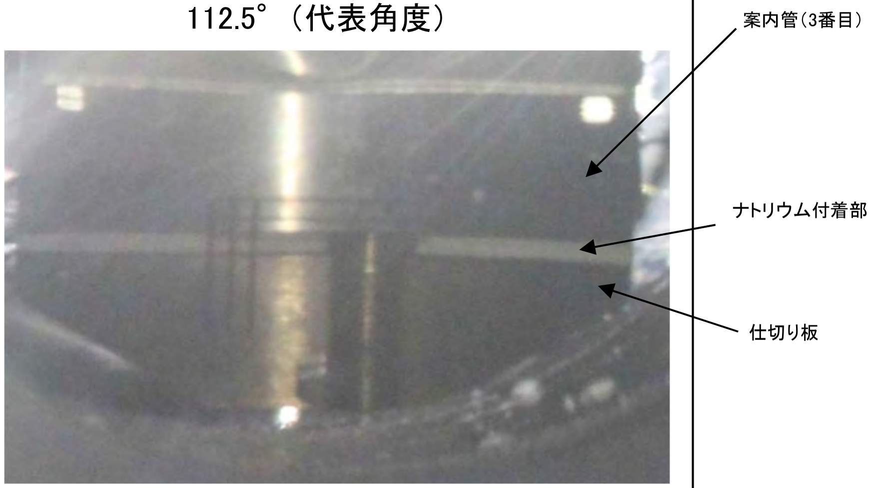


案内管内面観察方位




112.5°（代表角度）



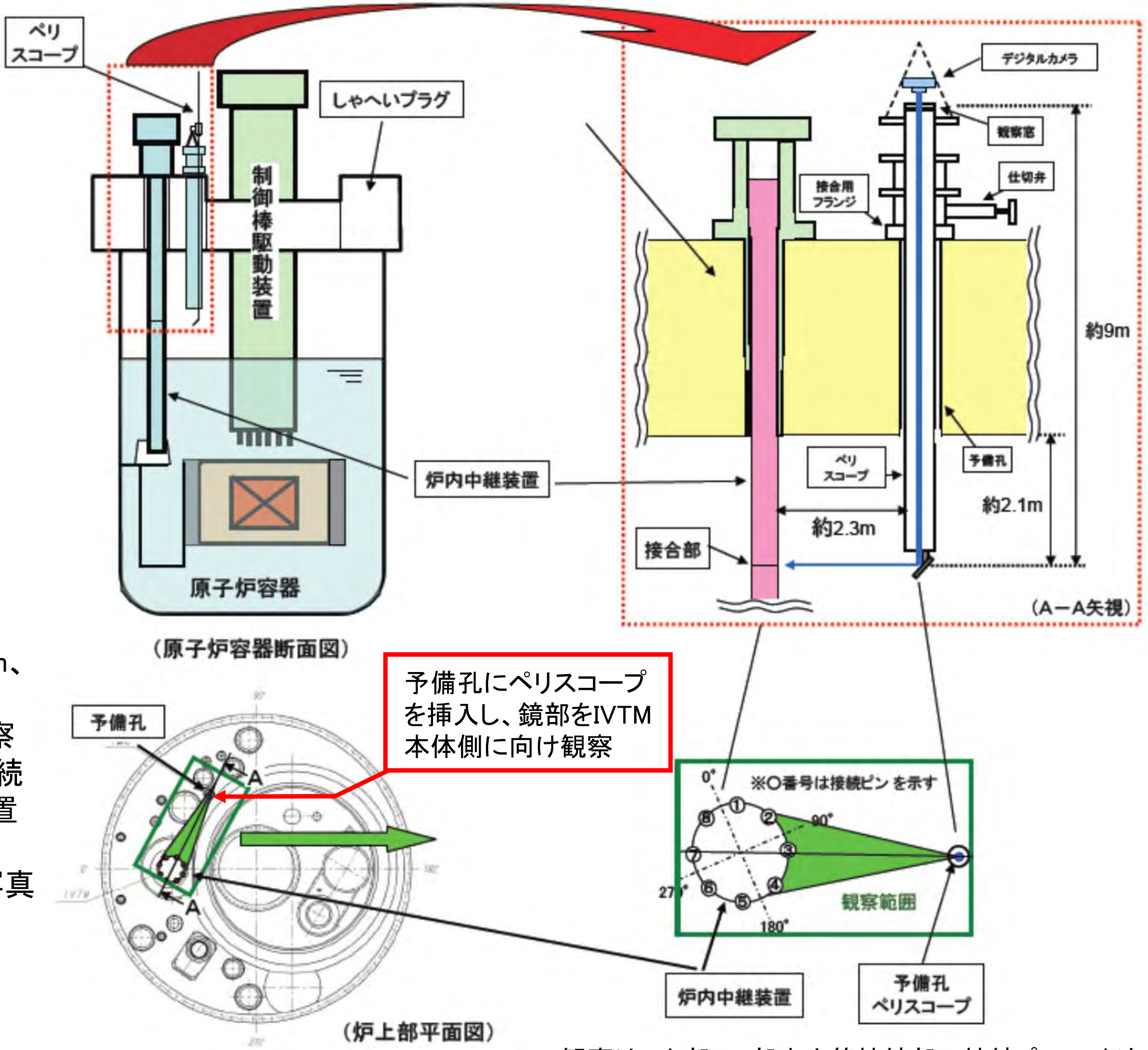

ナトリウム液面に近いB部の観察では、全周に渡りナトリウムが付着していた。全ての方位において差異がなかったことから、代表として1箇所を拡大画像に示す。

図-3のB部については、全ての方位において、けがき線(基準線)と同等の幅(約5mm)の白い帯状の線が確認された。
白い帯状の線は、面取り部分の付着ナトリウムが広がったものと推定され、内側案内管と仕切り板の間に、明らかなギャップ量は生じていないものと判断した。

図-5　内面観察結果

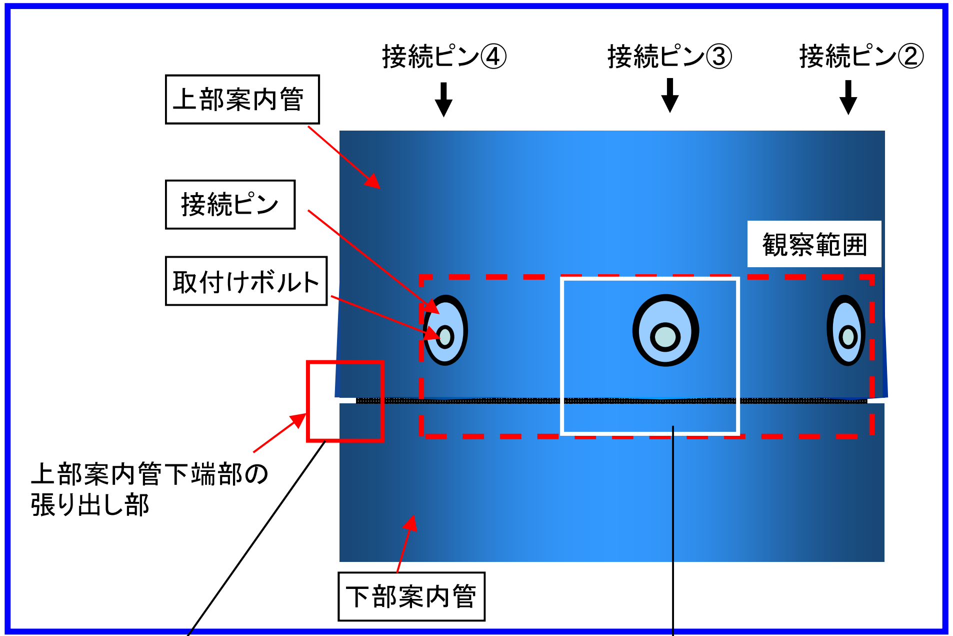
観察方法
IVTM本体案内管の外面観察は、炉上部の固定プラグに設置された予備孔を利用し、内面観察と同様にペリスコープを原子炉容器内に挿入して実施した。

観察は、ナトリウム液面から約1.57m、約160℃の1次系アルゴンガス中の原子炉容器内環境下において、観察部位（上部・下部案内管の隙間、接続ピン）を対象として、アクリル板を設置した観察窓から、鉛直方向で約9m、水平方向の約2.3mの焦点距離で写真撮影を行った。

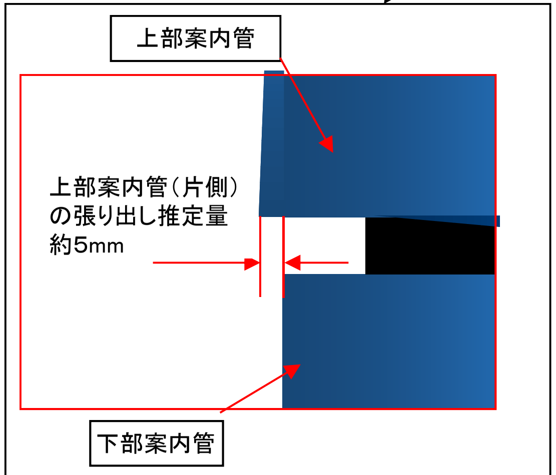



観察は、上部・下部案内管接続部の接続ピンの寸法を基準に評価するが、左図の観察範囲に限定される。

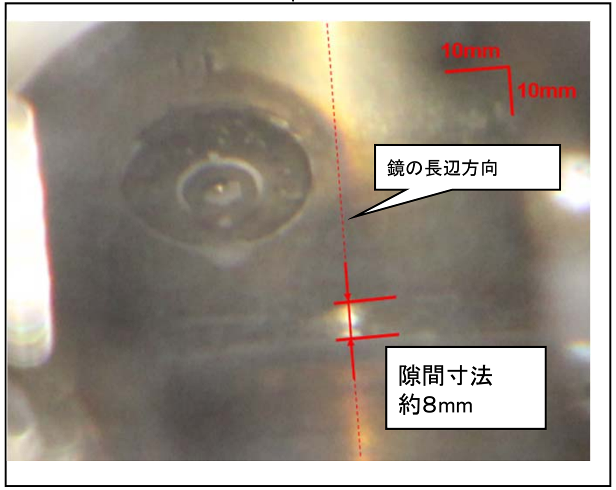
図−6　外面観察概念図




解析による案内管接続部のイメージ




解析による上部案内管
下端部（片側）の張出し推定量

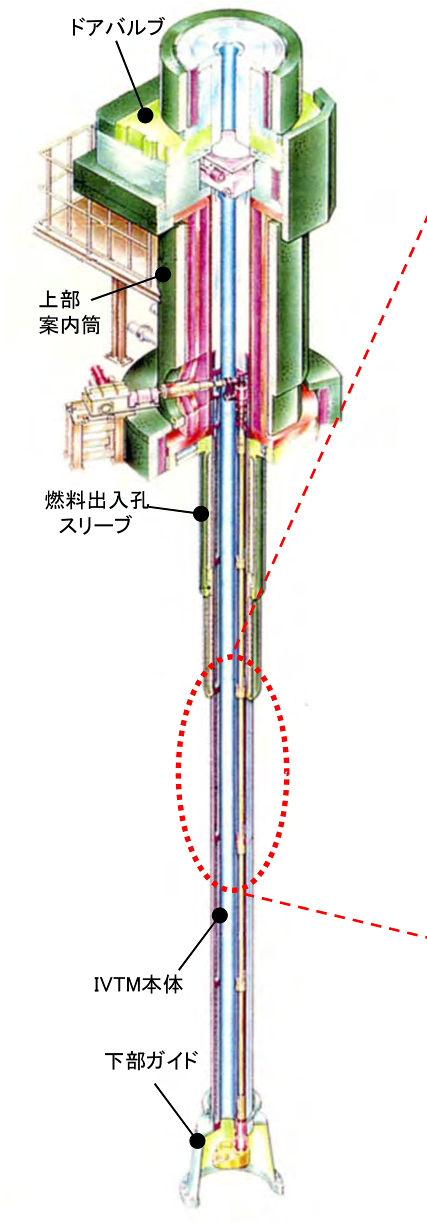


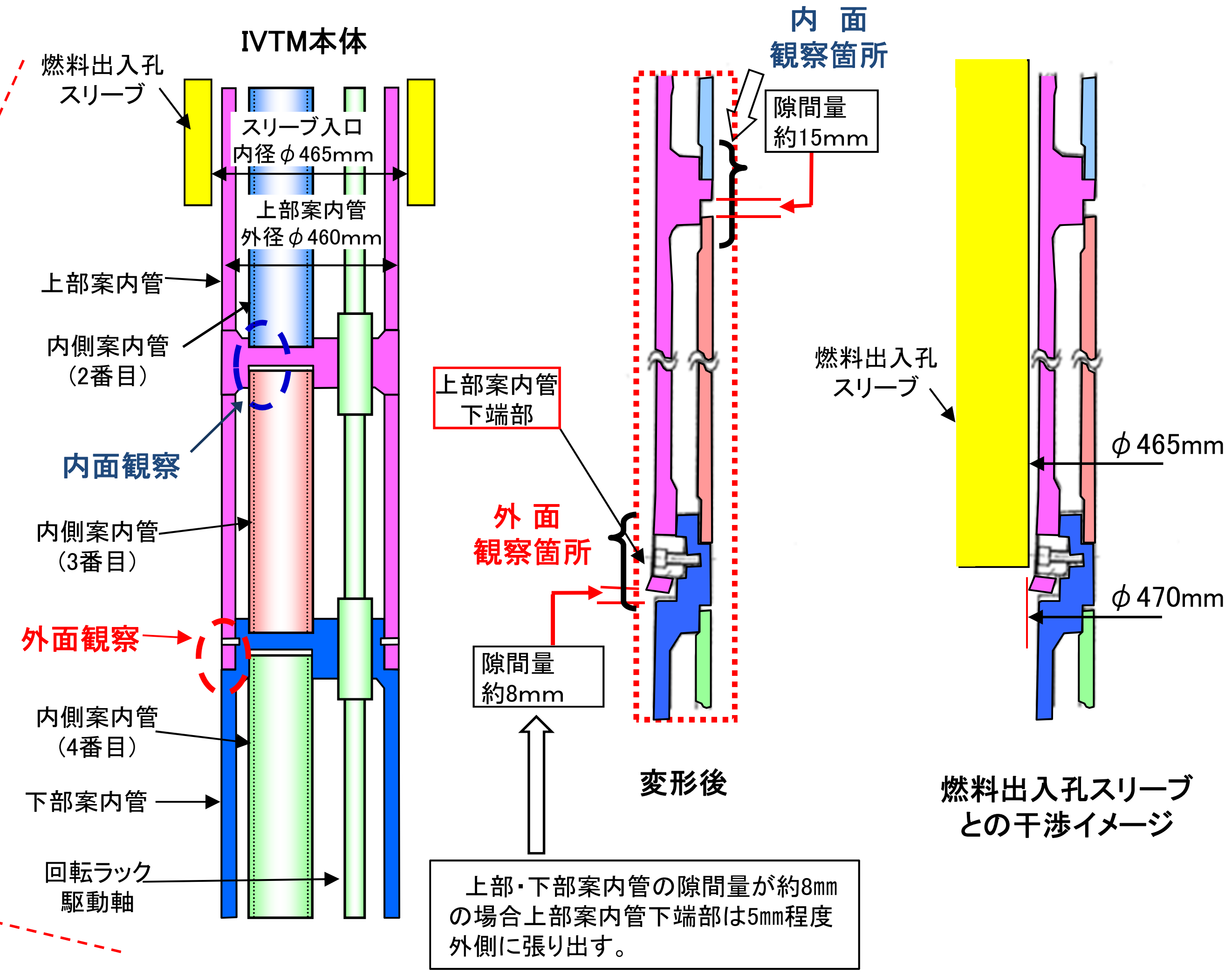

上部・下部案内管接続部外側からの観察結果
（鏡を介し撮影）

上部・下部案内管接続部の変形挙動に係る構造解析評価の結果から、上部案内管下端部の外側への張り出し量は約5mmとした。

図−7　外面観察結果

## 添付資料-9-2:上部案内管下端部と燃料出入孔スリーブとの干渉




上部・下部案内管の隙間量が約8mm の場合上部案内管下端部は5mm程度 外側に張り出す。

出入孔スリーブ下端部（スリーブ入口内径 φ465mm）に対して、張り出し量が約5mmのため、上部案内管下端部（変形後の外径φ470mm）が燃料出入孔スリーブと干渉する。

添付資料-9-3:上部案内筒(内面)観察状況

IVTM本体落下に係る原因調査の一環として、IVTM本体落下後の状態を把握することを目的に、上部案内筒の内面観察を実施した。観察箇所を図-1 に示す。

1. 観察方法

炉内観察用フランジ(点検窓付き)を燃料出入孔用接続筒の上面に設置し、炉内観察用フランジの点検孔からファイバースコープを挿入し、上部案内筒内面を観察した。また、炉内観察用フランジの点検窓を取り外し、CCDカメラを設置して内部の撮影を行った。

2. 観察結果

図-2 に示すとおり、上部案内筒の内面 180° ～225° の方向下部に円周方向に複数の白い筋を確認した。但し、その後の CCD カメラによる観察結果からは、同様の筋等は確認できなかった。

また、図-3 に示すとおり、約 270° 側上部にドアバルブ下面から下方に伸びている長さ約 1.7m のガイドキー(幅　約 30mm)よりやや細い帯状の白い筋を確認した。この白い筋は、その下端がIVTM本体のハンドリングヘッドの上方約 860mm の位置にあり、吊り始めのグリッパハウジング上端の位置とほぼ一致するため、今回IVTM本体を吊上げた際に、グリッパハウジングと内筒が接触したことにより生じたものと推定した。

以上

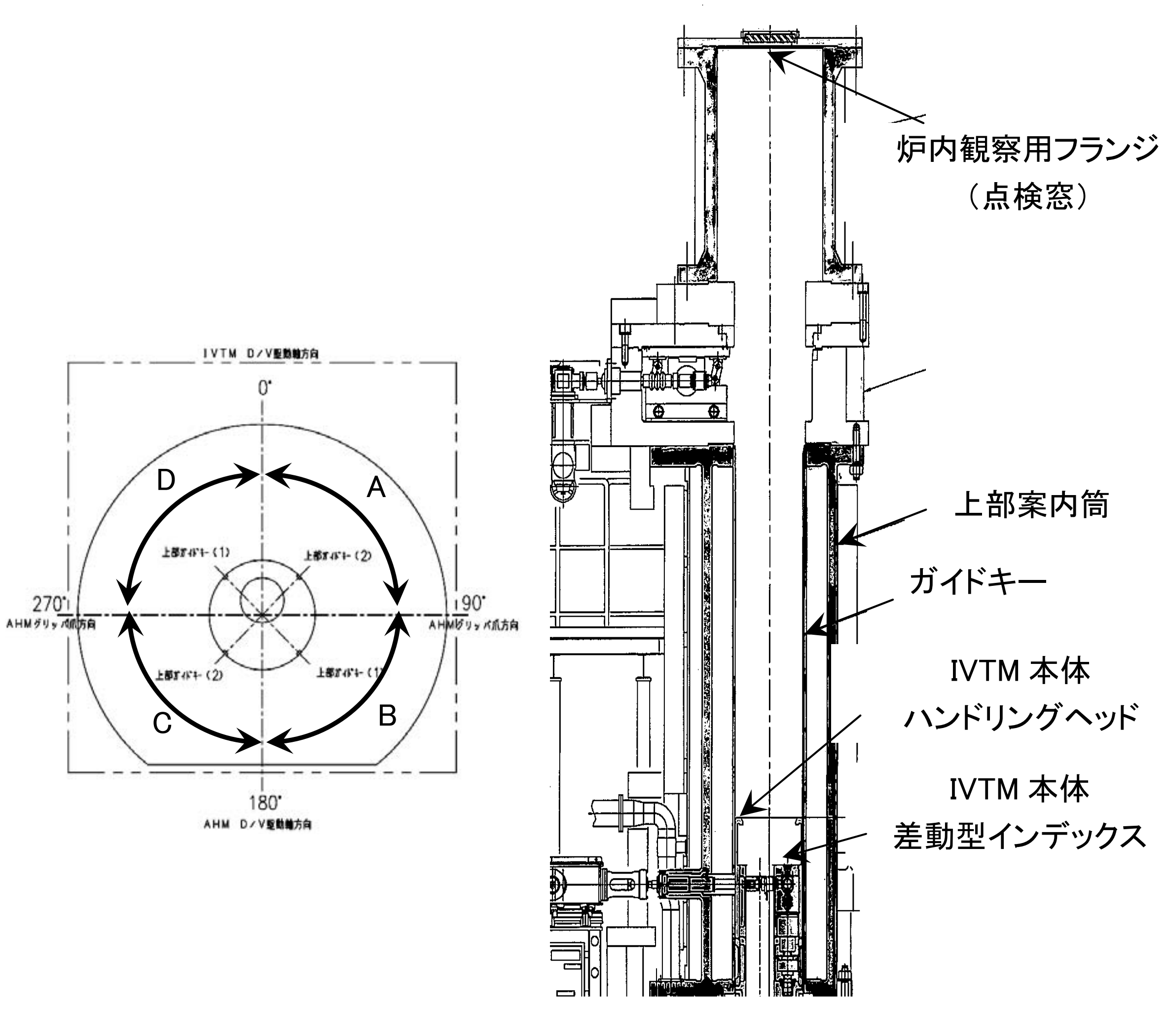



図-1 点検窓からの観察箇所

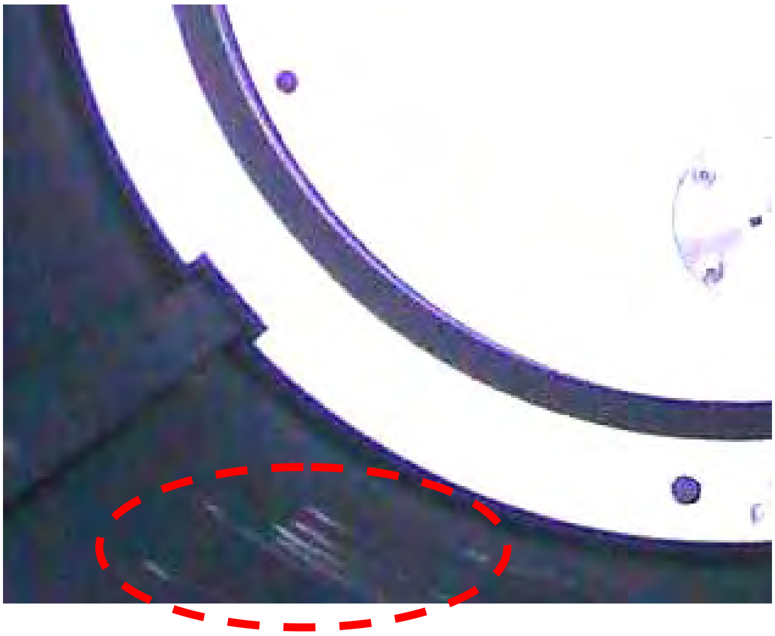


図-2　180～225°　方向　上部案内筒　円周方向の傷

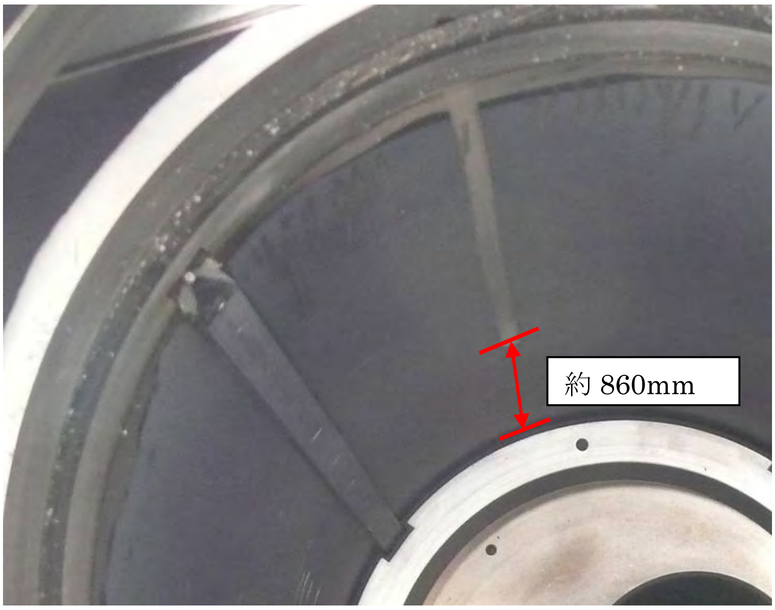
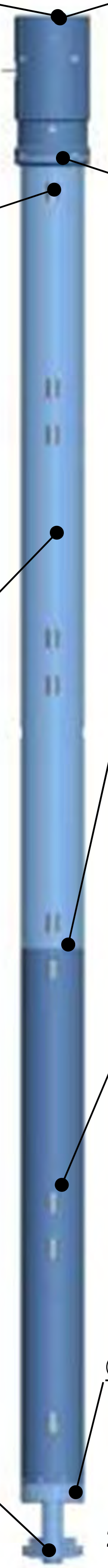



図-3　約 270°　方向　上部案内筒　上端からの帯状の白い筋

添付資料-9-4:IVTM本体の全体外観に係る点検調査結果

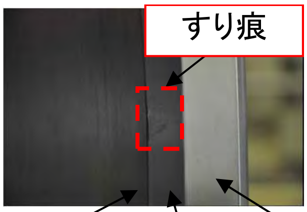
| | 調査部位 | 観察結果 | 考察及び評価 | 備考<br>（調査方法、関連写真など） |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ハンドリングヘッド | IVTM本体のハンドリングヘッドについて、外観観察を実施した。<br>① ハンドリングヘッド部には欠け、変形等の異常は認められなかった。<br>② グリッパ爪の嵌合部分（270° 方向）：ハンドリングヘッド内側垂直面下側の幅15mm程度のすり痕が2か所を確認した。<br>③ グリッパ爪の嵌合部分（90° 方向）：グリッパの爪幅以上にわたってすり痕を確認した。 | ハンドリングヘッドに歪、割れ等がなく、また、AHMグリッパ爪と嵌合する部位のハンドリングヘッド内側に欠け・変形等の異常がないため、IVTM本体の落下によるハンドリングヘッドへの影響はないことを確認した。<br>確認されたすり痕等については、以下のとおり、AHMグリッパによるつかみ操作に伴い発生したものであり、IVTM本体落下の原因ではない。<br>①270° 方向： すり痕の両端はAHMグリッパの爪幅に相当するため、IVTM本体落下時に発生した接触痕であると推定した。<br>②90° 方向： バフ研磨特有の模様であるため、IVTM本体落下に伴うすり痕ではなく、製作段階に行ったバフ研磨仕上げ時についた研磨痕であると推定した。 | 【図①】参照 |
| 2 | 本体据付フランジ | 本体据付フランジ面について、全周にわたり本体据付座との当たり面に接触痕（圧痕）を確認した(*1)。<br>① IVTM本体衝突時の押付け圧が相対的に大きくなるガイドキー付近： 最も深い部分で、0.1mm、それ以外の部分は約0.04～0.09mmの接触痕を確認した。<br>② ガイドキー溝付近以外： 接触痕（圧痕）は目視確認できるものの、深さは計測限界（0.01mm)未満を確認した。 | IVTM本体落下時に本体据付座との接触により生じた接触痕と推定した。IVTM本体フランジに残る接触痕（圧痕）の状況から明確に片当たりしているような接触痕の差異は認められなかった。<br>確認された接触痕（圧痕）は、IVTM本体落下、衝突に伴う影響による。 | (*1) レプリカ採取による観察及び計測を実施。<br><br>【図②-1～3】参照 |
| 3 | 回転ラック駆動軸 | ①上部ユニバーサルジョイントにおいて、ユニバーサルジョイントと下部駆動軸とを連結する平行ピン（下部側）1本が破断し、回転ラック駆動軸が約70～80mm程度下部方向に落下していることを確認した。<br>②また、同上の平行ピン（上部側）1本が破断し、軸スペーサとユニバーサルジョイントとの間に約7mmの隙間が生じていることを確認した。 | 回転ラック駆動軸の落下は、ユニバーサルジョイントの平行ピン(上部側、下部側)がIVTM本体の落下による衝撃によって、発生応力が当該部材の引張強さの破損限界を超えたため発生した。<br>なお、回転ラック駆動軸の落下により、スプライン部に駆動軸が挿入されている(*2)ことが確認されたが、引抜き後調査を実施したところ、スプライン部の破損、変形はないことを確認した。 | (*2)スプライン部は駆動軸の軸方向の熱膨張吸収代として約60～70mm有している。<br><br>【図③-1～3】参照 |

| | 調査部位 | 観察結果 | 考察及び評価 | 備考<br>（調査方法、関連写真など） |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 案内管及び接続部 | 上部・下部案内管の接続部において、<br>① 上部案内管と下部案内管接続部の間隔が拡大（隙間：約11mm～12mm）<br>② 上部案内管下端の接続部が外側に変形し燃料出入孔スリーブと干渉（張出量：約6～8mm）<br>③同接続部（8箇所）の接続ピン及び取付ボルトの脱落がないことを確認した。<br>④下部案内管・回転ラック軸受台の接続部のギャップ量は約1.5 mmであり、下部案内管下端部の外側への張り出しは全ての方位おいて確認できなかった。 | IVTM本体の落下による衝撃が原因となり、IVTM本体の上部・下部案内管接続部において、上部案内管の下端が外側に張り出し、IVTM本体引抜き時、燃料出入孔スリーブ下端部と干渉したことを確認した。<br>また、張り出しの状態は、IVTM本体引き抜き前に実施した構造解析により評価した結果と傾向は良く一致していた。 | 【図④-1、2】参照 |
| 5 | 回転ラック部<br>（軸部、メガネ部） | 回転ラック軸部について、<br>① 回転ラック（軸部）の180°方向に幅約20mmの間に深さのない長さ約255mmのすり傷2本を確認した。<br>回転ラック（メガネ部）について、<br>② 左側回転ラック側面270°方向に幅約15mmの間に深さのない長さ約60mmのすり傷 2本を確認した。 | 回転ラック（軸部、メガネ部）は通常の使用時（下部ガイドへの挿入・引抜き）においても下部ガイドと接触する部位であり、IVTM本体落下によるものかは明確ではない。<br>但し、外観観察で確認された擦り傷は、計測下限の約0.01mm以下であり、調査結果からは下部ガイドへの影響はない。 | 【図⑤】参照 |
| 6 | 回転ラック軸受台部 | 下部ガイドと接触する可能性のある回転ラック軸受台下端部について、外観観察を実施した。<br>① 回転ラック軸受台下端部に、約30°～170°の範囲で接触痕（圧痕）を確認した。<br>［長さ：約500mm、圧痕幅：約2～3mm、深さ：最大約2mm］<br>② 周囲と比較して相対的に凸部となる箇所を確認した。 | 回転ラック軸受台下端部の約30°～170°の範囲について、IVTM本体落下により下部ガイドと接触し、接触痕（圧痕）が生じたと推定した。<br>回転ラック軸受台下端部の凸部となる箇所は、下部ガイドのライナープレートとライナープレートの継目に一致する箇所に存在し、元の形状が維持されていると判断した。 | 【図⑥-1、2】参照 |



①ハンドリングヘッド：

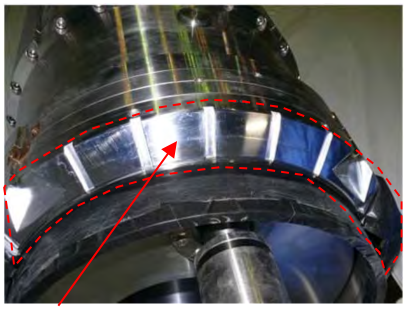
グリッパ爪の嵌合部分（270°方向）にハンドリングヘッド内側垂直面下側の幅15mm程度のすり痕が2か所




内側下面　内側垂直面 テーパ部

②本体据付フランジ：

本体据付フランジ面にIVTM本体落下時に本体据付座との接触により生じたと推定される接触痕（圧痕）あり



周状に接触痕(圧痕)

③回転ラック駆動軸：

上部ユニバーサルジョイント平行ピン（下部側）破断により破断部から下方へずれていた

切断した平行ピン

IVTM本体
上部案内管

④案内管及び接続部：

1）上部案内管と下部案内管接続部の間隔が拡大（隙間：約11mm～13mm）

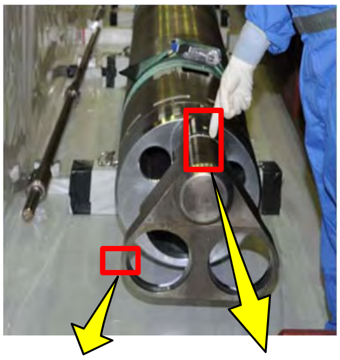
2）上部案内管下端の接続部が径方向への変形により燃料出入孔スリーブと干渉（張り出し量：約6～8mm）

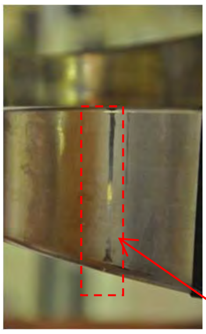
IVTM本体
下部案内管

⑤回転ラック部：

1）回転ラック（軸部）の180°方向に幅約20mmの間に深さのない長さ約255mmのすり傷2本を確認

2）回転ラック(メガネ部)270°方向に幅約15mmの間に深さのない長さ約60mmのすり傷が2本を確認





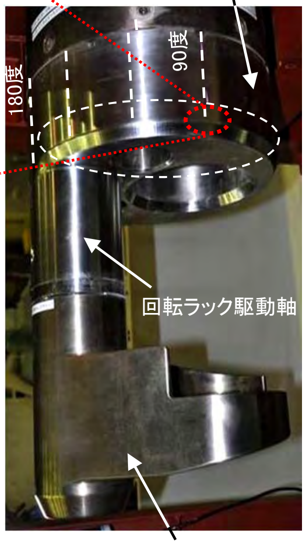
すり傷が残る

90度方向に残る凸部(拡大)

⑥回転ラック軸受台部：

1）回転ラック軸受台下端部に、約30°～170°の範囲で接触痕（圧痕）を確認

2)周囲と比較して相対的に凸部となる箇所を確認




回転ラック軸受台

回転ラック駆動軸

回転ラック(メガネ部)

（90° 方向:B 部拡大）　　（270° 方向:A 部拡大）

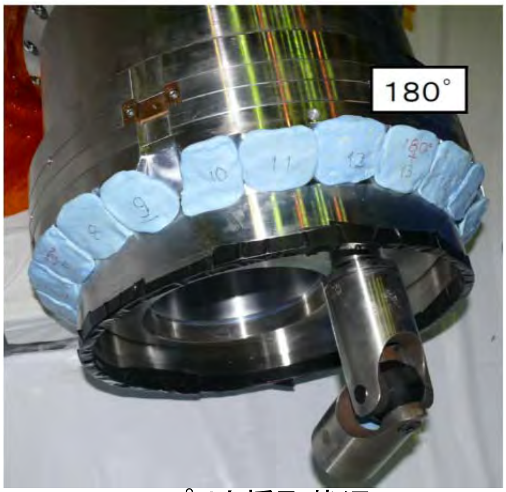
ハンドリングヘッド内面のすり痕等

図①　IVTM本体のハンドリングヘッドの観察結果

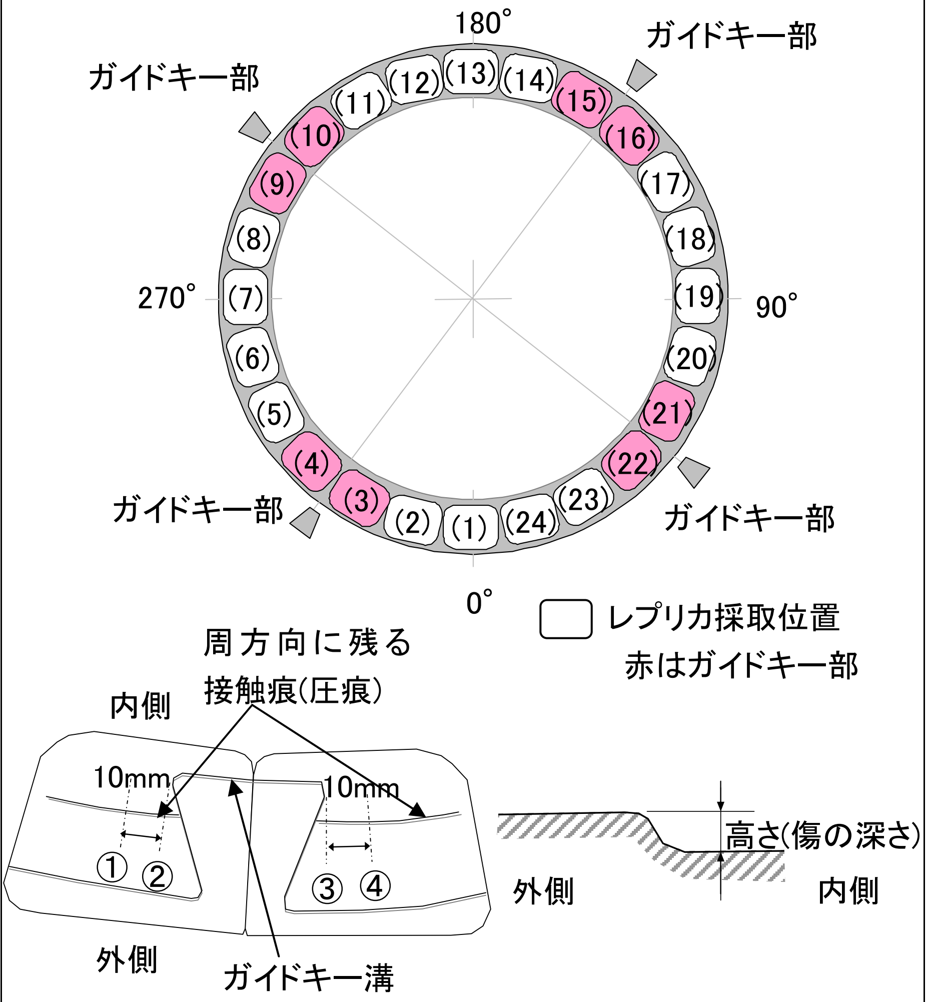
図②-1 IVTM 本体据付フランジの外観全体状況

| 確認部位 | 外観確認 |
|---|---|
| 据付フランジ | <br> <br> |

図②-2 レプリカ採取の状況

<table>
<tr><th>確認部位</th><th>外観確認方向</th></tr>
<tr><td>据付フランジ</td><td>



レプリカ採取状況




レプリカに残る傷の測定

注:(180° 方向が炉心中心側)
</td></tr>
</table>

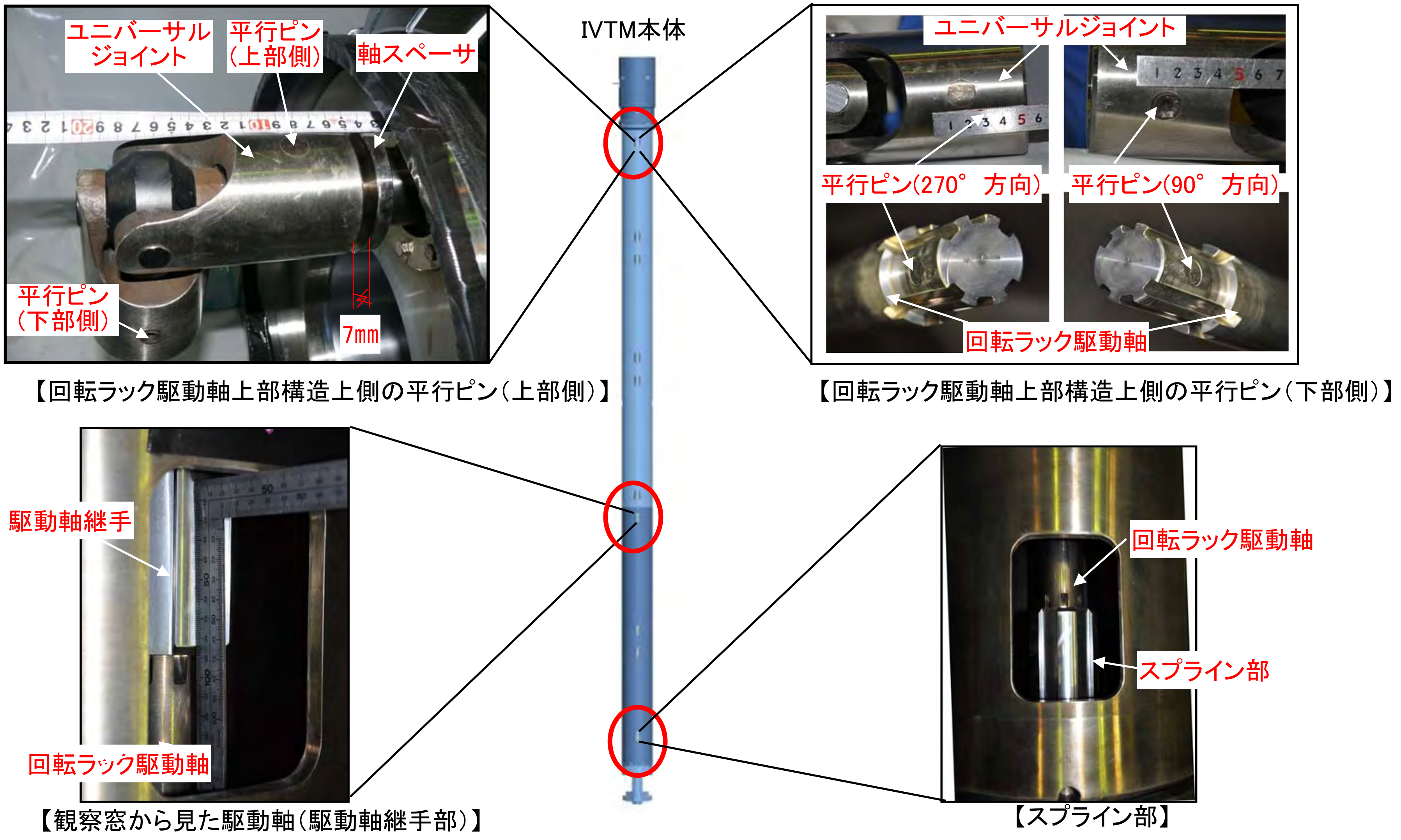
図②-3 レプリカによる計測の結果

<table>
<tr><th>確認部位</th><th>外観確認方向</th></tr>
<tr><td>据付フランジ</td><td>

| レプリカ No. | 測定箇所 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ① | ② | ③ | ④ |
| | 高さ(mm) | 高さ(mm) | 高さ(mm) | 高さ(mm) |
| **3** | 0.05 | 0.08 | | |
| **4** | | | 0.10 | 0.04 |
| **9** | 0.08 | 0.05 | | |
| **10** | | | 0.09 | 0.08 |
| **15** | 0.08 | 0.09 | | |
| **16** | | | 0.09 | 0.05 |
| **21** | 0.08 | 0.05 | | |
| **22** | | | 0.07 | 0.07 |

据付フランジ写真

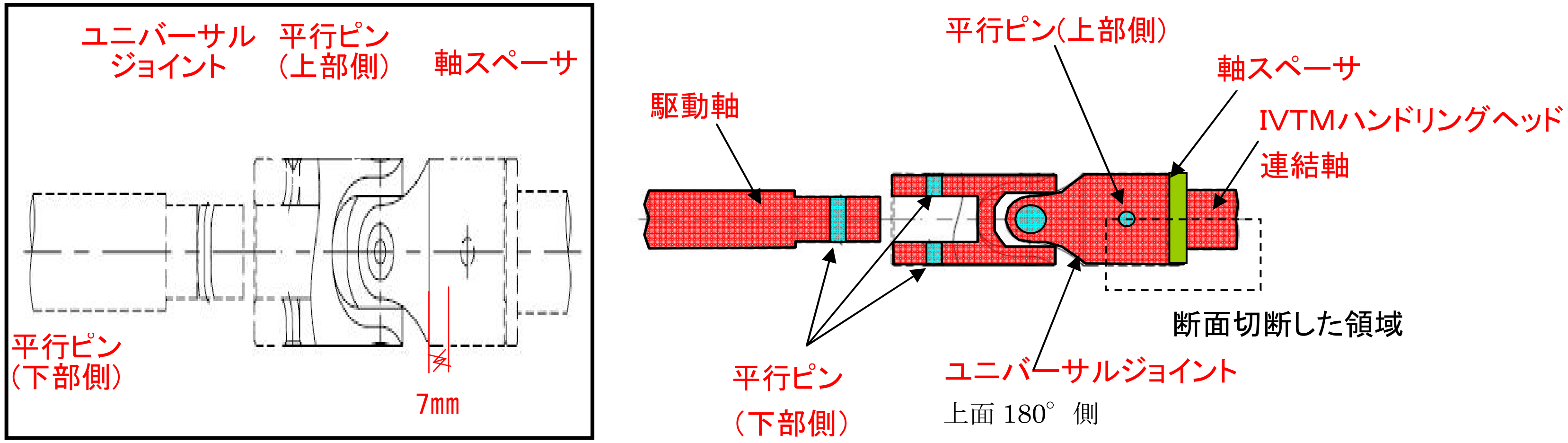
</td></tr>
</table>

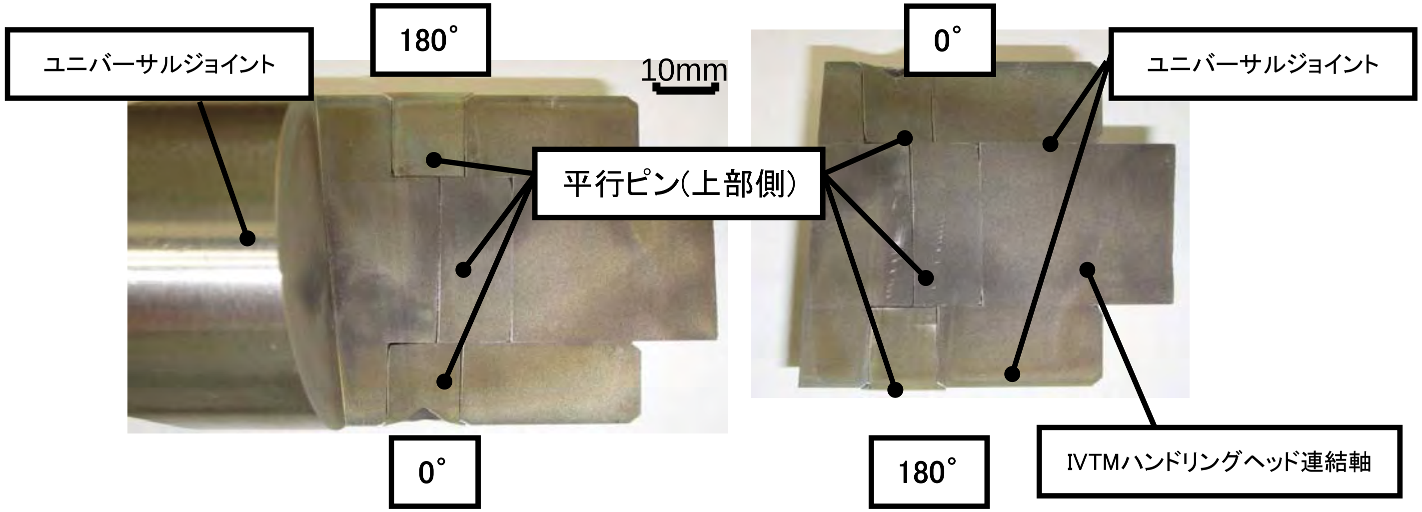



図③-1　回転ラック駆動軸の外観観察状況

図③-2 IVTM引き抜き後　ユニバーサルジョイント部の外観観察結果（1/2）

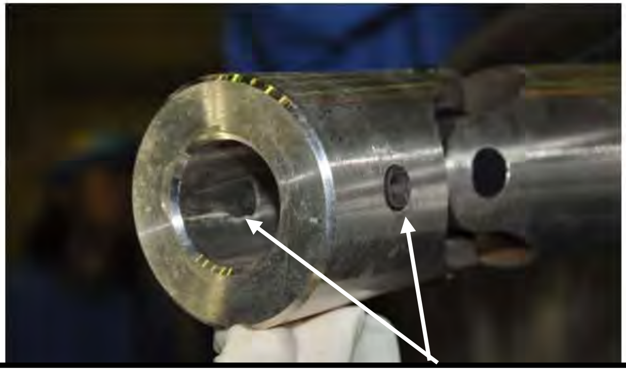
断面切断による平行ピン(上部側)の変形状況の確認



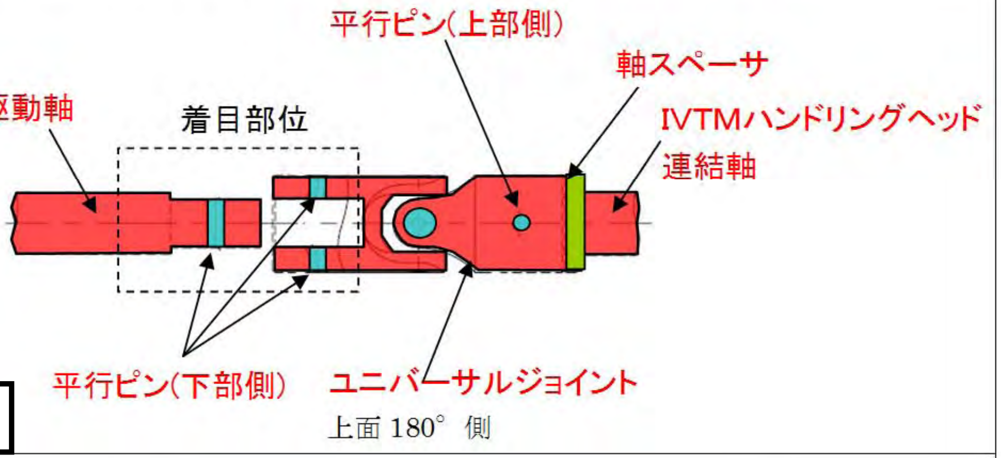



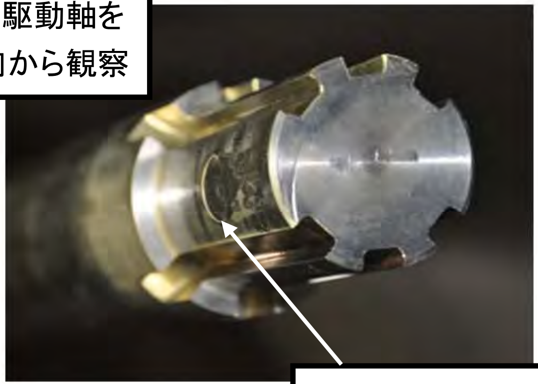
図③-3 IVTM引き抜き後 ユニバーサルジョイント部の外観観察結果(2/2)

平行ピン(下部側)の確認

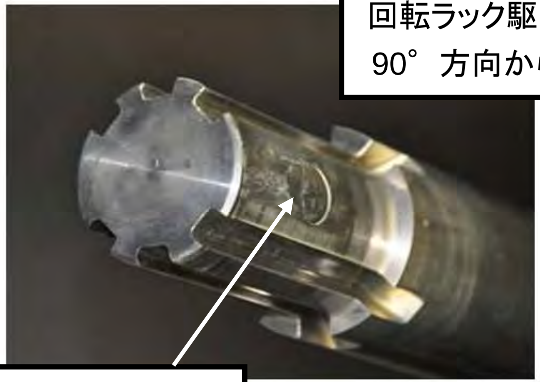


ユニバーサルジョイント側に残った平行ピン(下部側)



回転ラック駆動軸を
270° 方向から観察

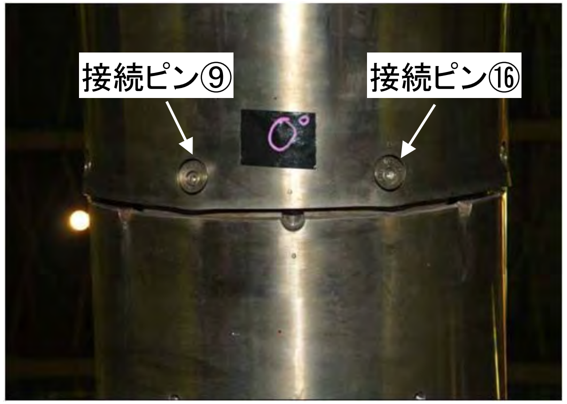


回転ラック駆動軸を
90° 方向から観察

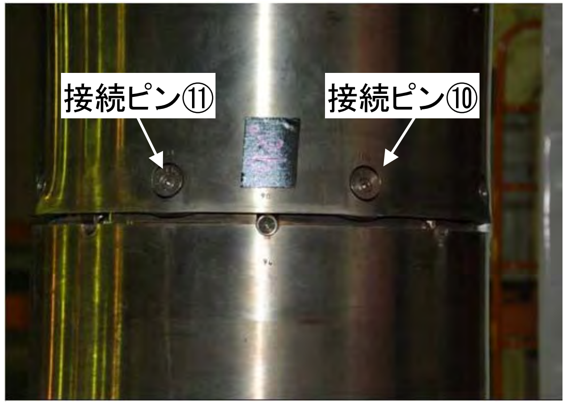
回転ラック駆動軸側に残った平行ピン(下部側)

図④-1　上部・下部案内管接続部の外観状況

0°　方向

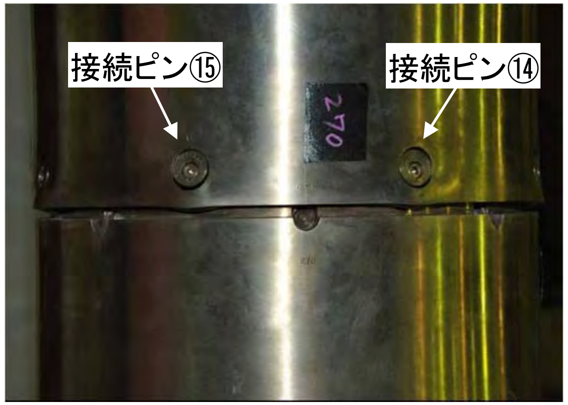


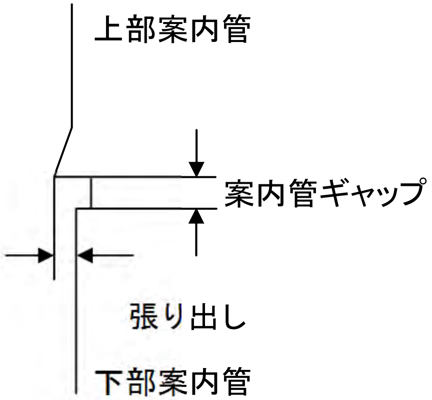

90°　方向

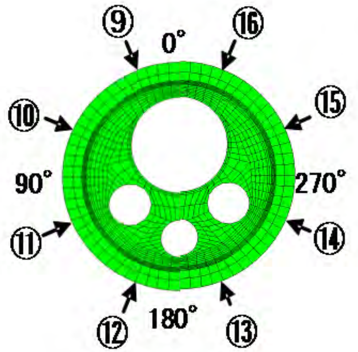



180°　方向

270°　方向



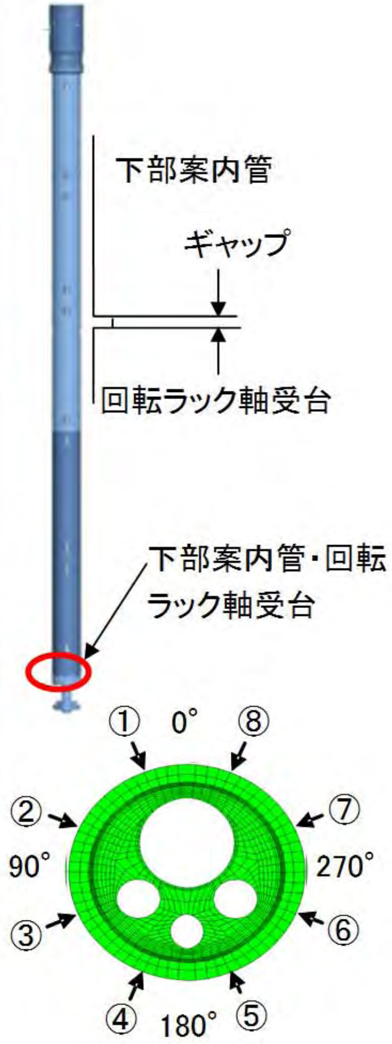



接続ピンの位置

上部・下部案内管接続部の変形量：上部案内管と下部案内管のギャップ量は11～12㎜（各接続ピンの直下）、上部案内管下端部の外側への張り出し量は6～8㎜

図④-2　下部案内管と回転ラック軸受台接続部の外観点検結果

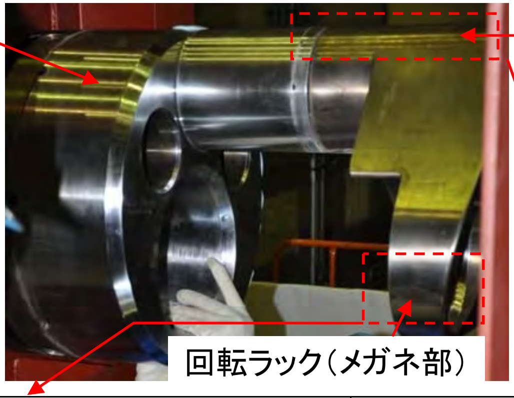
| 接続ピン① | 接続ピン② | 接続ピン③ | 接続ピン④ |
|---|---|---|---|
| | | | |
| 接続ピン⑤ | 接続ピン⑥ | 接続ピン⑦ | 接続ピン⑧ |
| | | | |

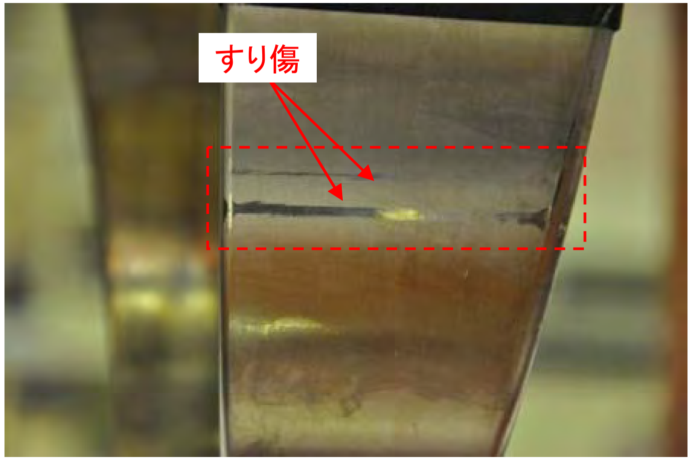
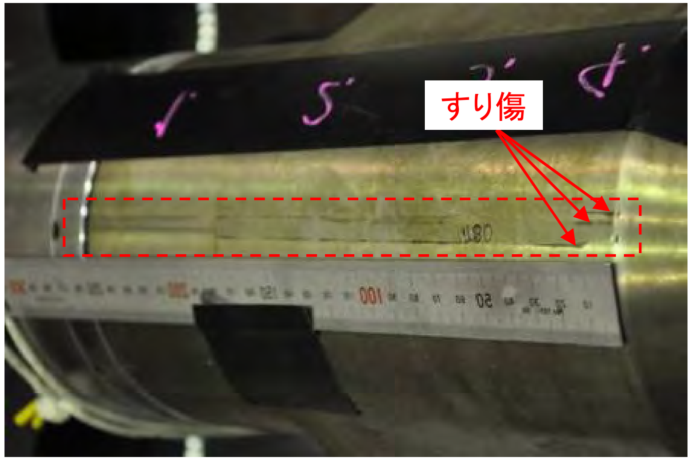


接続ピンの位置

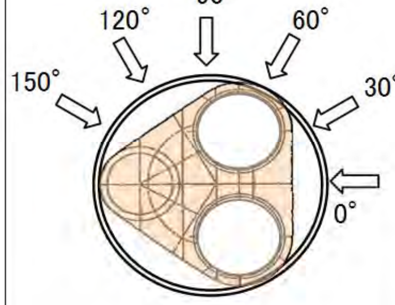
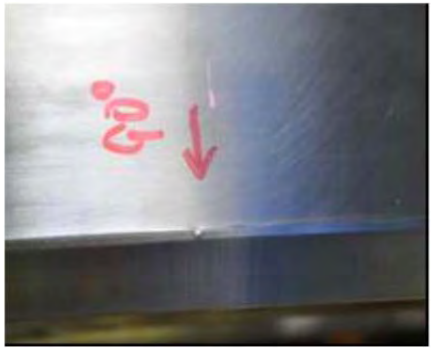
全体として下部案内管・回転ラック軸受台接続部のギャップ量は約 1.5 ㎜、下部案内管下端部の外側への張り出し量は全ての方位おいて確認できなかった。

図⑤ IVTM引き抜き後　下部案内管・回転ラック軸受台接続部の外観観察結果



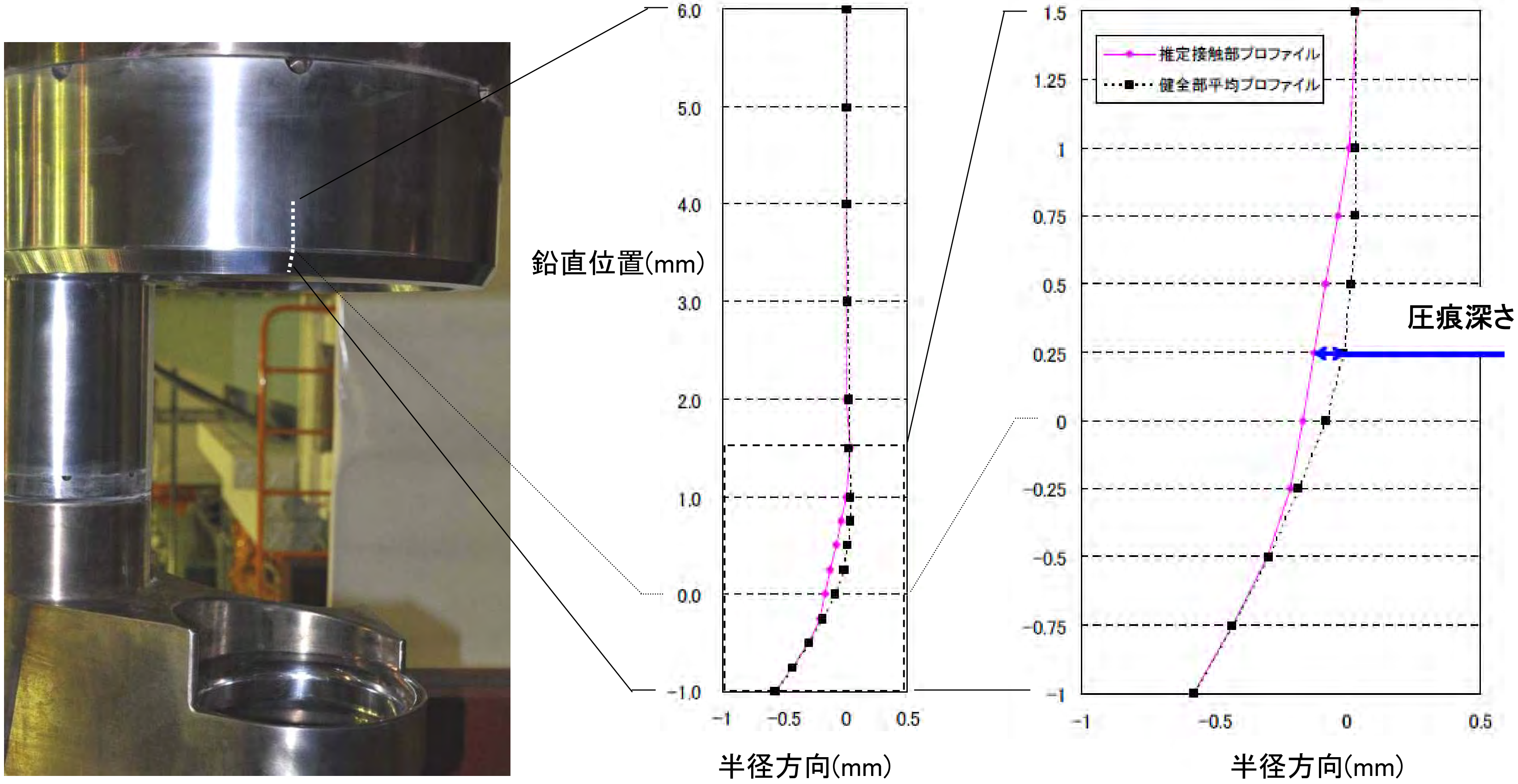

| メガネ部 | 軸部 |
|---|---|
|   |   |

図⑥-1　回転ラック軸受台の外観観察

| 確認部位 | 0°　方向 | 30°　方向 | 60°　方向 |
|---|---|---|---|
| 外観観察位置<br> <br>矢視 A<br><br><br>下方からの矢視 A | | <br> | <br> |
| | **90°　方向** | **120°　方向** | **150°　方向** |
| | <br> | <br> | <br> |

図⑥-2　レプリカによる接触痕(圧痕)の確認状況

推定接触範囲(約 30～170°　方向)の圧痕深さは、最大で約 0.2mm



# 添付資料-10-1：IVTM本体落下の要因分析

| 発生事象 | 要因1 | 要因2 | 要因3 | 確認方法 | | 確認結果 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| IVTM 落下 | 巻上機構異常 | ワイヤー破断 | | ロードセル荷重<br>ワイヤーロープ現場調査 | × | ・8月26日の荷重チャートにてロードセル荷重がゼロでは無いことを確認した。<br>・現場分解調査により、ワイヤーロープに破断がおきていないことを確認した。 |
| | | ロードセル取付ナット分離 | | ロードセル荷重<br>ロードセル現場調査 | × | ・8月26日の荷重チャートにて、グリッパ単体の荷重が前回作業と同等の重量を示していることから、ロードセル取付ナットは分離していない。<br>・現場分解調査により、ロードセル取付ナットが取付けられていることを確認した。 |
| | | ECモータ故障 | | ストローク指示値 | × | ・モータが故障すればワイヤが送り出されるためストロークも下限となるはずであるが、ストローク16.99mで停止しているため異常はない |
| | AHMグリッパ異常 | グリッパ爪が閉じた | 爪開閉ロッドの誤動作 | つかみLSの確認 | × | ・工場調査にてLSの動作確認を実施し、異常が無いことから、LS異常によるロッドの誤動作では無いことを確認した。 |
| | | | | グリッパ爪位置の外観調査 | × | ・現場分解調査の結果、爪開閉ロッドの位置は正常なつかみ位置にあるため誤動作ではないことを確認した。 |
| | | | 爪開閉ロッドの磨耗、へこみ | 分解調査による確認 | × | ・工場調査にて寸法を測定した結果、爪がハンドリングヘッド内径寸法よりも小さくなるような爪開閉ロッドの磨耗、へこみは観察されなかった。 |
| | | グリッパ爪が外れた | 爪旋回軸のピン（接続ピン）が破断 | グリッパ爪の外観調査 | × | ・現場分解調査により、グリッパ爪および接続ピンの外観確認を実施し、接続ピンが破損していない事を確認した。 |
| | | | 爪旋回軸のピン（接続ピン）の抜け | グリッパ爪の外観調査 | × | ・現場分解調査により、グリッパ爪および接続ピンの外観を確認し、接続ピンが抜けていないことを確認した。 |
| | | グリッパ爪が壊れた | グリッパ爪が内側に曲がった | グリッパ爪の外観調査 | × | ・現場分解調査により、グリッパ爪の外観を確認し、グリッパ爪が曲がっていないことを確認した。<br>・工場調査により、グリッパ爪の寸法に異常が無いことを確認した。 |
| | | | グリッパ爪先端引っ掛かり部破損・磨耗 | グリッパ爪の外観調査 | × | ・外観点検により、グリッパ爪先端部引っ掛かり部にグリッパ爪が壊れるような大きな損傷のないことを確認した<br>・ただし、270°側　グリッパ爪先端引っ掛かり部の上面に擦り傷があり、同角部にメクレが発生していることを確認した |
| | グリッパ爪つかみ不完全<br>（グリッパ爪が先端引っかかり部に乗り上げ、爪が開ききっていない） | つかみ位置<br>LS位置不良 | | グリッパ爪の開閉寸法確認<br>（調整記録確認含む） | × | ・平成15年6月のパワーシリンダ交換時のグリッパ爪開閉記録は正規の開閉寸法となっており問題無いことを確認した。<br>・平成20年1月の点検時のグリッパ爪開閉記録は正規の開閉寸法となっており問題無いことを確認した |
| | | | LSの経年劣化 | 分解調査による確認 | × | ・工場調査で分解時にLS動作確認を行い、異常が無いことを確認した。 |
| | | | LS設定位置不良 | 分解調査による確認 | × | ・工場調査によりパワーシリンダ単体でLS設定位置を確認し異常がないことを確認した。 |
| | | | LS取付ねじの緩み | 分解調査による確認 | × | ・工場調査により、LS取付ねじがエポキシで固定され、緩みがないことを確認した。 |
| | | | LS取付けロッドの変形 | 分解調査による確認 | × | ・工場調査により、LS取付ロッドが変形していないことを確認した。 |
| | | つかみ位置ランプ誤点灯 | | つかみ判定LSロジック確認<br>（展開接続図確認） | × | ・LS信号のA接点の単純なANDロジックのため、LS動作しない限り、リレーに電圧印加されず、ランプ誤点灯や他信号誤成立はないことを確認した。 |
| | | パワーシリンダの接続ピン破損 | | 分解調査による確認 | × | ・現場分解調査により、パワーシリンダ接続ピンの外観を確認し、ピンが破損していないことを確認した。 |
| | | 爪開閉ロット゛の回転 | U字金具の緩み | 分解調査による確認<br>パワーシリンダ点検記録確認 | ◎ | ・現場分解調査により、U字金具のねじに緩みがあることを確認した。<br>・平板形状の爪開閉ロッドの回転がIVTM落下を生じた要因であるため、添付資料-10-2で爪開閉ロッドの回転に関する要因分析を参照。 |
| | | つかみ時の芯ずれ | | 各部の図面寸法確認 | × | ・つかみ具の芯ずれは最大で2mm程度であり、グリッパ爪が正規寸法に開いていた場合、グリッパ爪がつかみ不完全の状態になることが無いことを確認した。 |
| | | 上記以外の原因で爪が十分開いていなかった<br>（爪開閉ロッドの磨耗、へこみ） | 爪開閉ロッドの磨耗、へこみ | 分解調査による確認<br>爪開閉点検記録の確認 | × | ・工場調査にて寸法を測定した結果、爪がハンドリングヘッド内径寸法よりも小さくなるような爪開閉ロッドの磨耗、へこみは観察されなかった。 |
| | | 吊り状態の誤判定 | 検出器の故障 | | × | ・操作盤等の調査により、検出器は正常であることを確認した。 |
| | | | 操作者の誤認 | | × | ・運転手順書に基づき、適切に操作していることを確認した。 |
| | | | 検出精度 | | ○ | ・吊り状態は、ストロークとグリッパの荷重を検知して判定しており、本事象時の操作においても判定基準値内であることを確認しているが、現状の機能では、グリッパ爪が正常なつかみ状態でないことを検出できる機構とはなっていなかった。 |
| | IVTM　ハンドリングヘッド（ハンドリングヘッド）異常 | グリッパ爪先端引っ掛かり部破損 | | IVTM　上部外観調査 | × | ・ファイバースコープによる上面の観察では、特に異常は確認されていない。<br>・ハンドリングヘッド上部をペリスコープにて確認し、異常が無かった。 |
| | | ハンドリングヘッド取り付けボルト部　分離 | | IVTM　上部外観調査<br>（グリッパ部へのハンドリングヘッド残存確認） | × | ・8月28日の点検にて、グリッパ部へハンドリングヘッド部品が残存していないことを確認した。 |
| | グリッパ爪「はなし」信号誤出力 | モータ誤動作 | | PB誤操作／ブレーキ誤動作除く、下記2要因（リレー誤動作、制御装置故障）発生有無 | × | ・モータ駆動用コンタクタ動作必要で、単体誤動作はない。PB誤操作／ブレーキ誤動作除く、以下2つの要因（リレー誤動作、制御装置故障）に帰着する。<br>・現場分解調査により爪開閉ロッドが所定の上下位置にあることを確認した。 |
| | | PB誤操作 | 制御装置除外モードにしていた（除外モードの場合、運転中でも爪開閉作業は可能になる） | ・作業者のヒヤリング<br>・制御装置選択COS選択状態 | × | ・制御装置『使用』にしていないと、吊り不吊り判定もしないので、チャートで判定を行っていることから『使用』で運転していたことは間違いないことを確認。 |
| | | リレー誤動作 | | ・リレー接点使用方法<br>・つかみランプ点灯状態 | × | ・グリッパ爪開閉に係るリレーロジックはA接点構成の正論理であり、リレー単体の誤動作結果とは考えられない。<br>尚、「つかみ」ランプが点灯維持のため、はなし誤信号の後、再度つかみ誤信号発生は考えられない。<br>・現場分解調査により爪開閉ロッドが所定の上下位置にあることを確認した。 |
| | | ブレーキ誤動作 | | ブレーキ動作状態（励磁、無励磁） | × | ・ブレーキコイル励磁でブレーキ解除につき、爪開閉モータ駆動用コンタクタ動作が必要なため、単体での誤動作はない。<br>・現場分解調査により爪開閉ロッドが所定の上下位置にあることを確認した。 |
| | | 制御装置故障 | | つかみランプ点灯状態 | × | ・「つかみ」ランプが点灯維持のため、はなし誤信号の後、再度つかみ誤信号発生は考えられない。<br>・現場分解調査により爪開閉ロッドが所定の上下位置にあることを確認した。 |

【確認結果の分類】
◎：　要因である
○：　可能性は否定できない
×：　要因ではない

# 添付資料-10-2:爪開閉ロッド回転に関する要因分析表

| 発生事象 | 要因1 | 要因2 | 確認方法 | 判定 | 確認結果 |
|---|---|---|---|---|---|
| 爪開閉ロッドの回転 | パワーシリンダU字金具のねじが緩んだ | 組立時の締込み不足 | 購入品メーカープロセス確認<br>（ヒアリング） | ○ | 購入品メーカでは組立プロセスを管理していることを確認した。 |
| | | | メーカ標準の確認不足の有無 | ○ | ・通常使用状態でもAHMの起立・転倒時に、グリッパが爪に対して、直交2方向に衝突荷重と摩擦力が重畳して、爪開閉ロッドに力が発生する可能性がある。<br>・メーカへの購入仕様では特別なワッシャ締込み管理は要求しておらず、メーカ基準は認識していなかった。 |
| | | | 現地組立て時の締込み不足の有無<br>（記録確認） | ◎ | ・通常使用状態でもAHMの起立・転倒時に、グリッパが爪に対して、直交2方向に衝突荷重と摩擦力が重畳して、爪開閉ロッドに回転トルクは作用する可能性がある。<br>・パワーシリンダの組立プロセスについては、現地組立では外観点検として確認しているが、締付け量等は確認していない。<br>・なお、平成15年のパワーシリンダ交換時に交換したパワーシリンダのU字金具のねじについては、ゴムワッシャが強く締付けられる、とともにねじ緩み止め接着剤が塗布されていた。 |
| | | ワッシャの経年劣化 | 外観・寸法・硬さ・摩擦などの記録<br>（ワッシャ材質：ニトリルゴム（NBR）） | ○ | ・工場調査の結果、ワッシャが硬くなり、かつ変形が確認された。<br>・ゴムワッシャの条件（①新品ゴム、②7年劣化相当品ゴム、③実機（IVTM落下事象発生時の）ゴムの3種類）を変えた「加振試験」の結果、ゴムの条件の違いによる定量的な評価は得られることができなかった。 |
| | | 左右の爪のアンバランス接触による緩み発生 | 爪開閉ロッド接触痕状態確認<br>分解調査での寸法検査 | × | ・爪開閉ロッドφ90円筒面に接触痕は対角にあるため、アンバランスな接触状態は確認できなかった。<br>・工場調査の寸法測定の結果、爪の寸法は設計寸法とおりで異常がないことを確認した。<br>・爪開閉ロッドの詳細測定に基づき重心位置を確認し、問題はなかった。 |
| | | 移送時などの振動による緩み発生 | 分解調査（寸法・緩み確認）<br>昇降・移送・起立等の履歴調査<br>昇降・移送・起立等のAHM振動測定と加振試験 | ○ | ・現場分解調査の結果、U字金具のねじが緩んでいた。<br>・AHMグリッパ昇降時の巻上装置からの振動伝達やAHM横倒し移送、起立、機器サポート異常等の振動等が加振源の可能性がある。AHM実機を用いた振動測定を行うとともに、それを加振波として加振試験を行った結果、爪開閉ロッドに回転トルクが発生すること、また、IVTM落下事象時のU字金具のねじ締付け状態と同程度の締付け条件で、爪開閉ロッドが正規の位置から徐々に回転することを確認した。 |
| | パワーシリンダU字金具のねじが破断した | 疲労 | 分解調査（破面観察） | × | 現地調査により、U字金具のねじが破断していないことを確認した。従って、疲労によるねじの破断は無い。 |
| | | 過荷重 | 分解調査（破面観察） | × | 現地調査により、U字金具のねじが破断していないことを確認した。従って、過荷重によるねじの破断は無い。 |
| | | 腐食 | 分解調査（外観確認） | × | 現地調査の外観調査により、U字金具のねじが破損していないことを確認した。従って、腐食によるねじの破断は無い。 |
| | 接続ピンが破損した | 接続ピンの抜け<br>（割りピンの破損） | 分解調査 | × | 現地分解調査により、割りピンは健全であり、接続ピンは抜けていない事を確認した。 |
| | | 疲労 | 分解調査（破面観察） | × | 現地調査により、接続ピンが破断していないことを確認した。従って、疲労によるねじの破断は無い。 |
| | | 過荷重 | 分解調査（破面観察） | × | 現地調査により、接続ピンが破断していないことを確認した。従って、過荷重によるねじの破断は無い。 |
| | | 腐食 | 分解調査（外観確認） | × | 現地調査の外観調査により、接続ピンが破損していないことを確認した。従って腐食によるねじの破断はない。 |
| | パワーシリンダのシャフトが回転した | パワーシリンダロッドの上端廻り止めが機能しなかった | 分解調査<br>（パワーシリンダ分解後に実施） | × | 工場調査の外観調査、パワーシリンダ分解調査により、ロッド上端廻り止めが実施されていることを確認した。 |
| | | パワーシリンダロッドの下端廻り止めが機能しなかった | 分解調査<br>（パワーシリンダ分解後に実施） | × | 工場調査の外観調査、パワーシリンダ分解調査により、ロッド下端廻り止めが実施されていることを確認した。 |
| | | パワーシリンダに内蔵されたスライドナットの廻り止めが機能しなかった | 分解調査<br>（パワーシリンダ分解後に実施） | × | 工場調査の外観調査、パワーシリンダ分解調査により、スライドナットの廻り止めが実施されていることを確認した。 |
| | 爪開閉ロッドのパワーシリンダとの接続部破損 | | 分解調査 | × | 工場調査の外観調査により、爪開閉ロッドの先端（U字金具との接続部）が破損していない事を確認した。 |

【確認結果の分類】
◎：要因である
○：可能性は否定できない
×：要因ではない

# 添付資料-10-3：燃料交換後始末作業報告書抜粋（AHM据付）

１２．作業手順／工事管理チェックシート

| 工事件名 | 燃料交換準備・後始末等作業　燃料交換後始末作業　（C／V内作業　ＡＨＭ取扱） | シート番号 | 25 ／ 36 |
|---|---|---|---|

| 区分 | 番号 | 作業手順 | 注意事項 | 管理区分 JAEA | 管理区分 東芝 | 確認日・確認者 JAEA | 作責 | 指・QC | 現責 | 班長 | 記録番号 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 1 | 事前確認<br>1) 作業場所の環境が安全確保上問題のないことを確認する。 | 品 内部確認時は、異物混入防止エリアをトラロープにて区画する。 | ― | C | ― | ― ― | ― ― | □ 8/26 [redacted] | △ 8/26 [redacted] | |
| [A14]<br>ＡＨＭ据付（IVTM上） | 2 | ＡＨＭ据付（IVTM上）<br>（添付資料11-1-2-①）<br>1) 燃料出入孔用接続筒のＡＨＭ据付面確認・グリス塗布<br>2) Ｏリング溝確認・装着確認<br>ID　1220×Φ10<br>ID　1300×Φ10<br>3) ガイドボルト確認（ＡＨＭ側）<br>2－Φ54-390<br>4) AHM側据付面確認・グリス塗布<br>5) 据付方位確認<br>（AHM D/V駆動部 180° 方位）<br>6) 取付ボルト　潤滑油塗布<br>締付トルク（添付資料11-12-⑥参照）<br>STEP　規定トルク<br>1　1470N・m　対角<br>2　2390N・m　対角<br>3　2390N・m　円周 | 安 AHM機器付きの配管類が起立時干渉しない位置か確認する。<br>品 Ｏリング溝及び装着確認を行う。<br>安 クレーン運転、玉掛け作業は有資格者が行う。<br>安 移動通路に立入禁止区域を設置し、監視人を付けて注意をうながす事。<br>安 移動中、他設備へ接触しない様、十分に注意する。（介錯ロープの取付）<br>安 ボルト締付工具使用時は、合図を掛け合いながら実施し、指等を挟まれぬ様に注意する。 | ● | C | 8/26 [redacted] | ― ― | 指 8/26 [redacted]<br>QC 8/26 [redacted] | □ 8/26 [redacted] | △ 8/26 [redacted] | |

Ｏリング取付状態確認

| 確認日 | 確認者（Wチェック） | |
|---|---|---|
| 8/26 | [redacted] | [redacted] |

内部異物確認

| 確認日 | 確認者（Wチェック） | |
|---|---|---|
| 8/26 | [redacted] | [redacted] |

締付確認

| トルク値 | 確認日 | 確認者（Wチェック） | |
|---|---|---|---|
| 2390 N·m | 8/26 | [redacted] | [redacted] |

| 作業要領区分 | 注意事項凡例 | 管理区分 JAEA | 管理区分 東芝 | 確認者区分 |
|---|---|---|---|---|
| 責：作業責任者が必ず現場立会をする作業ステップ及びステージラストマンのチェックポイント | 安：安全上<br>品：品質上<br>放：放管上<br>HE：人的ミス防止 | ●：立会確認（全数）<br>◎：立会確認（抜取）<br>○：記録確認<br>－：規定せず | A：記録提出<br>B：記録保管<br>C：現場確認のみ | □：当該ステップの完了確認及び次ｽﾃｯﾌﾟへの指示<br>△：実作業の指揮<br>－：該当せず<br>指：次ｽﾃｯﾌﾟへの許可（指導員）<br>QC：次ｽﾃｯﾌﾟへの許可（ＱＣ員）<br>作責：作業責任者　現責：現場作業責任者<br>指QC員：指導員・QC員<br>記入上の凡例：確認日は月／日で記入し、確認者を記入する。 |

１２．作業手順／工事管理チェックシート

| 工事件名 | 燃料交換準備・後始末等作業　燃料交換後始末作業　（Ｃ／Ｖ内作業　ＡＨＭ取扱） | | | | | | | | | | | シート番号 26 ／ 36 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 区　分 | 番号 | 作　業　手　順 | | 注　意　事　項 | 管理区分 JAEA | 管理区分 東芝 | 確認日・確認者 JAEA | 作責 | 指・QC | 現責 | 班長 | 記録番号 |
| 21<br>[A14]<br>ＡＨＭ据付<br>（IVTM上） | 2 | 7）フレキシブルホース接続確認<br>1/2B×30M<br>8）IVTM本体収納作業許可連絡<br>9）専用ケーブルの接続 | | | | | | | | | | |
| | 3 | 残作業の有無確認 | 責 | | － | C | － | □ 8/26 [redacted] | － － | △ 8/26 [redacted] | △ 8/26 [redacted] | |

| 作業要領区分 | 注意事項凡例 | 管理区分 JAEA | 東芝 | 確認者区分 |
|---|---|---|---|---|
| 責：作業責任者が必ず現場立会をする作業ステップ及びステージラストマンのチェックポイント | 安：安全上<br>品：品質上<br>放：放管上<br>HE：人的ミス防止 | ●：立会確認（全数）<br>◎：立会確認（抜取）<br>○：記録確認<br>－：規定せず | A：記録提出<br>B：記録保管<br>C：現場確認のみ | □：当該ステップの完了確認及び次ｽﾃｯﾌﾟへの指示<br>△：実作業の指揮<br>－：該当せず<br>指：次ｽﾃｯﾌﾟへの許可（指導員）<br>QC：次ｽﾃｯﾌﾟへの許可（ＱＣ員）<br>作責：作業責任者　現責：現場作業責任者<br>指QC員：指導員・QC員<br>記入上の凡例：確認日は月／日で記入し、確認者を記入する。 |

添付資料-10-4:運転操作に関する聞取り調査結果

平成22年8月26日

| 時　刻 | 運転操作確認結果 | 聞取り調査結果 |
|---|---|---|
| 14:00頃～ | ・AHM操作開始 | 一人が操作手順書を読み上げ、もう一人が操作を実施した。<br><br>操作を実施した者が、操作盤のランプ表示、吊り荷重値、AHMグリッパストローク等確認呼称し、操作手順書を読み上げた者が操作手順書と相違ないことをチェックした。 |
| 14:26頃 | ・グリッパ下降開始 | |
| | 初期荷重　約 5000 N | |
| 14:35頃 | ・グリッパ着床確認 | |
| | 「挿入完了位置」ランプ点灯確認 | |
| | ストローク　18.99m | |
| | グリッパ昇降荷重 約2600 N | |
| 14:37頃 | ・取扱対象物操作(IVTM本体つかみ操作) | |
| | 「つかみ」ランプ点灯確認 | |
| 14:40頃 | ・グリッパ上昇操作 | |
| | 吊り・不吊り位置判定点到達 | |
| | ストローク　18.78m | |
| | 取扱対象物吊り・不吊り判定　「OK」ランプ点灯確認 | |
| | グリッパ昇降荷重 約 37800 N | |
| 14:48頃 | ・グリッパ上昇操作(吊り・不吊り判定点より) | |
| | ストローク　16.99m にて「荷重超過」(低)ランプ点灯 | グリッパ吊り荷重が低下し、衝突音を確認した。 |
| | 異音が発生し、グリッパ昇降荷重が 約 5000 Nまで下降 | |
| | | |
| | ・作業中断 | |

# 操作手順書抜粋(1/3)

| 操　作　項　目 | 操作･確認場所 盤 | CRT 画面 No. | 確認・注意事項 | チェック |
|---|---|---|---|---|
| 10. ドアバルブ開操作 | | | | |
| (1) AHM ドアバルブ弁座シール止弁(072V1)を「全閉」とする。 | AHM 本体 | | | ＿ |
| (2) AHMドアバルブ PBL を「開」とする。 | 輸送ケーシング操作盤 C-RF011 (R-501) | | 「停止」Ⓒ消灯<br>「開」Ⓡ点灯 | ＿ |
| (1) AHMドアバルブの「全開」を確認する。 | 〃 | | 「開」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | ＿ |
| | | | 状態表示灯<br>ドアバルブ「全開」Ⓦ点灯<br>運転条件「グリッパ昇降許可」Ⓦ点灯 | ＿<br>＿ |
| 11. 機器サポート操作 | | | | |
| (1) 機器サポート「解放」であることを確認する。 | 〃 | | 「解放」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | ＿ |
| | | | 状態表示灯<br>機器サポート「解放」Ⓦ点灯 | ＿ |
| 12. グリッパ昇降操作 | | | | |
| (1) グリッパ昇降 PBL を「下降」とする。 | 〃 | | 「停止」Ⓒ消灯<br>「下降」Ⓡ点灯 | ＿ |
| (2) 下降開始後、挿入完了位置に到達するとグリッパの下降が停止する。 | 〃 | | 「下降」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | ＿ |
| | | | 状態表示灯<br>グリッパ昇降位置「挿入完了位置」Ⓦ点灯 | ＿ |
| (2) 挿入完了位置でのグリッパ昇降位置を確認する。 | 〃 | | | |
| ① グリッパ昇降位置(072-WE001) | | | グリッパ昇降位置(操作監視項目「4.項」参照) | ＿ |

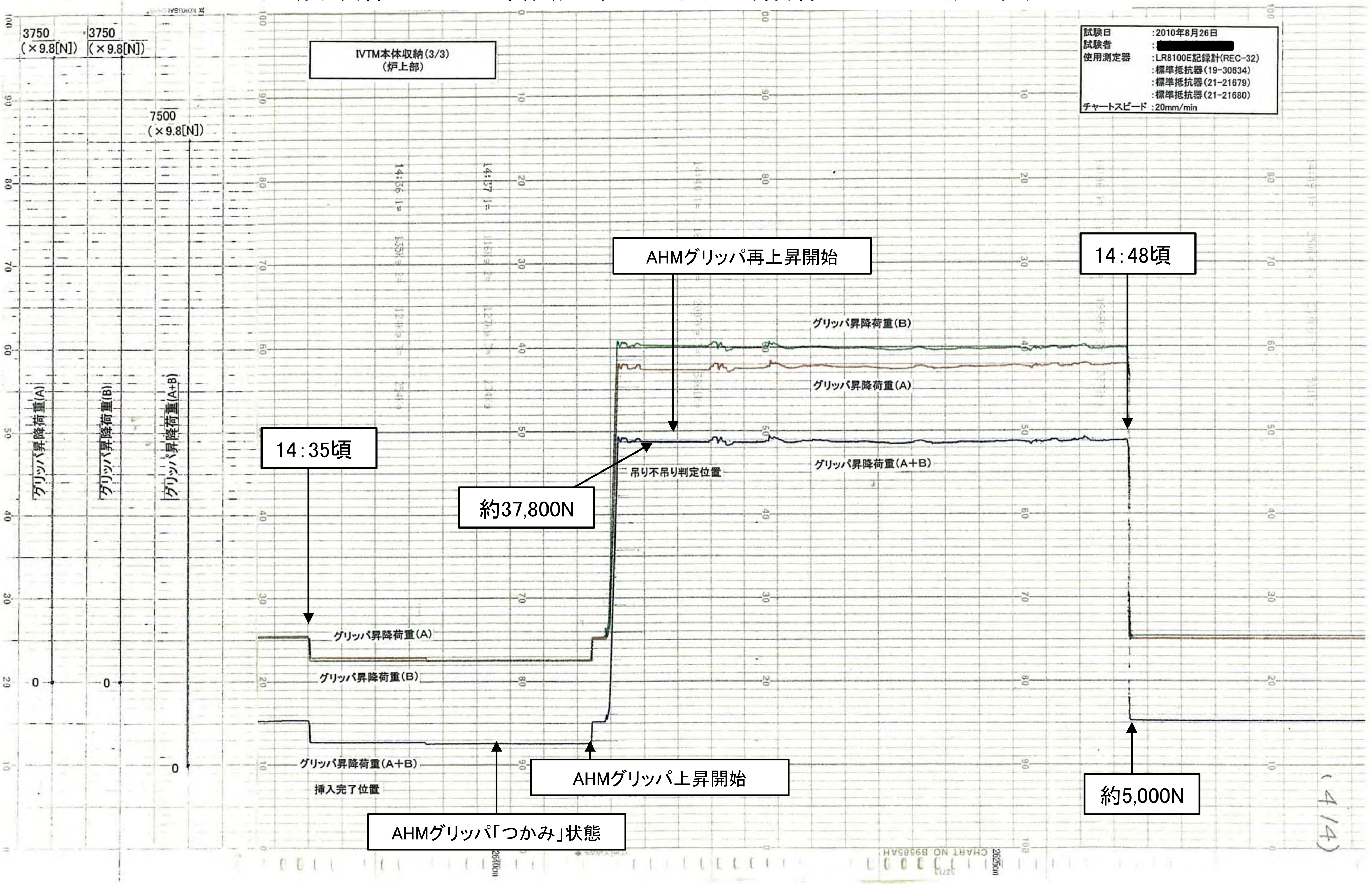
# 操作手順書抜粋(2/3)

| 操作項目 | 操作・確認場所 | | 確認・注意事項 | チェック |
|---|---|---|---|---|
| | 盤 | CRT 画面 No. | | |
| (3) 挿入完了位置でのグリッパ昇降荷重を確認する。 | 輸送ケーシング操作盤<br>C-RF011<br>(R-501) | | | |
| ① グリッパ昇降荷重(072-WI001) | | | グリッパ昇降荷重(操作監視項目「4.項」参照) | — |
| 13. 取扱対象物操作 | | | | |
| (1) 取扱対象物 PBL を「つかみ」とする。 | 〃 | | 「停止」Ⓒ消灯<br>「つかみ」Ⓡ点灯 | — |
| (2) 取扱対象物「つかみ」となることを確認する。 | 〃 | | 「つかみ」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | — |
| | | | 状態表示灯<br>取扱対象物 「つかみ」ⓦ点灯 | — |
| 14. グリッパ昇降位置選択 | | | | |
| (1) グリッパ昇降位置選択 COS を「予熱停止位置」とする。 | 〃 | | | — |
| 15. グリッパ昇降操作 | | | | |
| (1) グリッパ昇降 PBL を「上昇」とする。 | 〃 | | 「停止」Ⓒ消灯<br>「上昇」Ⓡ点灯 | — |
| | | | 状態表示灯<br>グリッパ昇降位置「挿入完了位置」ⓦ消灯 | — |
| (2) 上昇開始後、吊り・不吊り判定位置に到達するとグリッパの上昇が停止する。 | 〃 | | 「上昇」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | — |
| | | | 状態表示灯<br>取扱対象物吊り・不吊り判定<br>「OK」ⓦ点灯 | — |
| (3) 吊り・不吊り判定位置でのグリッパ昇降位置を確認する。 | 〃 | | | |
| ① グリッパ昇降位置(072-WE001) | | | グリッパ昇降位置(操作監視項目「4.項」参照) | — |

## 操作手順書抜粋(3/3)

| 操　作　項　目 | 操作･確認場所 | | 確認・注意事項 | ﾁｪｯｸ |
|---|---|---|---|---|
| | 盤 | CRT 画面 No. | | |
| (4) 吊り･不吊り判定位置でのグリッパ昇降荷重を確認する。 | 輸送ケーシング操作盤 C-RF011 (R-501) | | | |
| ① グリッパ昇降荷重(072-WI001) | | | グリッパ昇降荷重(操作監視項目「4.項」参照) | ＿ |
| (5) 停止後、グリッパ昇降 PBL「上昇」を現在ストローク－6cmとなるまで押し続ける。 | 〃 | | 「停止」Ⓒ消灯<br>「上昇」Ⓡ点灯 | ＿ |
| (6) 上昇開始後、予熱停止位置に到達するとグリッパの上昇が停止する。 | 〃 | | 「上昇」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | ＿ |
| | | | 状態表示灯<br>グリッパ昇降位置「予熱停止位置」Ⓦ点灯 | ＿ |
| (7) 予熱停止位置でのグリッパ昇降位置を確認する。 | 〃 | | | |
| ① グリッパ昇降位置(072-WE001) | | | グリッパ昇降位置(操作監視項目「4.項」参照) | ＿ |
| (8) Na ドレンのため 30 分保持する。 | 〃 | | | ＿ |
| (9) 予熱･Na ドレン「完了」を確認する。 | 〃 | | 状態表示灯<br>予熱･Na ドレン「完了」Ⓦ点灯 | ＿ |
| 16. グリッパ昇降位置選択 | | | | |
| (1) グリッパ昇降位置選択 COS を「引抜完了位置」とする。 | 〃 | | | ＿ |
| 17. グリッパ昇降操作 | | | | |
| (1) グリッパ昇降 PBL を「上昇」とする。 | 〃 | | 「停止」Ⓒ消灯<br>「上昇」Ⓡ点灯 | ＿ |
| (2) 上昇開始後、引抜完了位置に到達するとグリッパの上昇が停止する。 | 〃 | | 「上昇」Ⓡ消灯<br>「停止」Ⓒ点灯 | ＿ |
| | | | 状態表示灯<br>グリッパ昇降位置「引抜完了位置」Ⓦ点灯 | ＿ |

添付資料-10-5：IVTM本体落下時のAHMグリッパ昇降荷重チャート（平成22年8月26日）



添付資料-10-6 ：AHMの吊り・不吊り判定について

IVTM本体落下事象時の吊り・不吊り判定機能では正常に吊り上げられたと判定していたが、約 2m 吊り上げたところで落下させたことから、吊り・不吊り判定方法及び過去のIVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドを確認し、今回の落下事象に対し正常に吊り・不吊り判定できる機構であったのかどうかについて調査を行った。

1．IVTM本体を吊り上げる場合の吊り・不吊り判定方法

AHMで取扱対象機器を吊り上げる際の吊り・不吊り判定は、吊り位置が原子炉容器内で目視できないことから、AHMグリッパの昇降位置と吊り荷重（絶対荷重）によって判断しており、グリッパ爪のつかみ状態（正常に爪がつかみ状態となっていること）は、爪開閉ロッドを伸縮させるパワーシリンダの軸に取り付けたリミットスイッチで判断している。

IVTM本体を吊り上げる際の、吊り・不吊り判定のインタロックを図-1 に示す。

(1) AHMグリッパが、IVTM本体のハンドリングヘッドに着床し、グリッパ爪つかみ操作後約 50mm 上昇した位置からグリッパ爪にIVTM本体の荷重がかかり始め、吊り荷重が増加する。

(2) 着床位置からの約 50mm にIVTM本体の荷重による巻き上げワイヤの伸び量約 80mm を加え、更に確実にIVTM本体がAHMグリッパに吊り上げられた位置として 100mm 上昇させた位置約 230mm を吊り・不吊り判定位置に設定している。

(3) AHMグリッパが着床位置から約 230mm 上昇した位置で一時停止し、荷重値により吊り・不吊り判定を行い、荷重値が判定基準値以上の場合は、上昇を継続する。

今回の落下事象時では、グリッパ爪のつかみ状態はリミットスイッチにより「正常」と判定されており、吊り・不吊り判定では判定値以上の荷重値によって「正常」と判断されている。

2．IVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドの比較

今回の落下事象時（平成 22 年 8 月 26 日）、前回（平成 21 年 7 月 21 日）、前々回（平成 20 年 3 月 26 日）のIVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドの比較を図-2 に示す。

各IVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドを比較し、その違いを確認した。

(1) AHMグリッパの吊り・不吊り判定位置でのAHMグリッパ昇降荷重

今回は $3.86\times10^4$N であり、前回（平成 21 年 7 月 21 日）の $3.63\times10^4$N、前々回（平成 20 年 3 月 26 日）の $3.56\times10^4$N に比べ $0.23$～$0.30\times10^4$N 増加している。

(2) IVTM本体吊り上げ上昇中における荷重値

今回は $3.80 \times 10^4$N であるのに対して、前回（平成 21 年 7 月 21 日）値及び前々回（平成 20 年 3 月 26 日）値が $3.51 \times 10^4$N であったことから $0.29 \times 10^4$N 増加している。

(3) 吊り上げ開始直後の荷重変動

各IVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドから、吊り上げ開始直後の荷重変動の拡大図を図−3 に示す。AHMグリッパ上昇開始からIVTMハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間を比較すると、今回は約 12 秒であり、前回（平成 21 年 7 月 21 日）及び前々回（平成 20 年 3 月 26 日）より約 3 秒（昇降ストロークに換算すると約 15mm）長い。また、今回はAHMグリッパが上昇し始めてIVTM本体の荷重を受け始める段階で $6.1 \times 10^2$N 程度の荷重が増加し、瞬時に低下した（荷重変動(b)）。

３. まとめ

吊り・不吊り判定方法及び過去 3 年間のIVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドの比較を調査した結果、以下を確認した。

① 吊り・不吊り判定は、吊り上げ後の荷重値（判定値以上であること）で判定しているため、グリッパ爪が正常につかみ状態となっていることが前提となる。

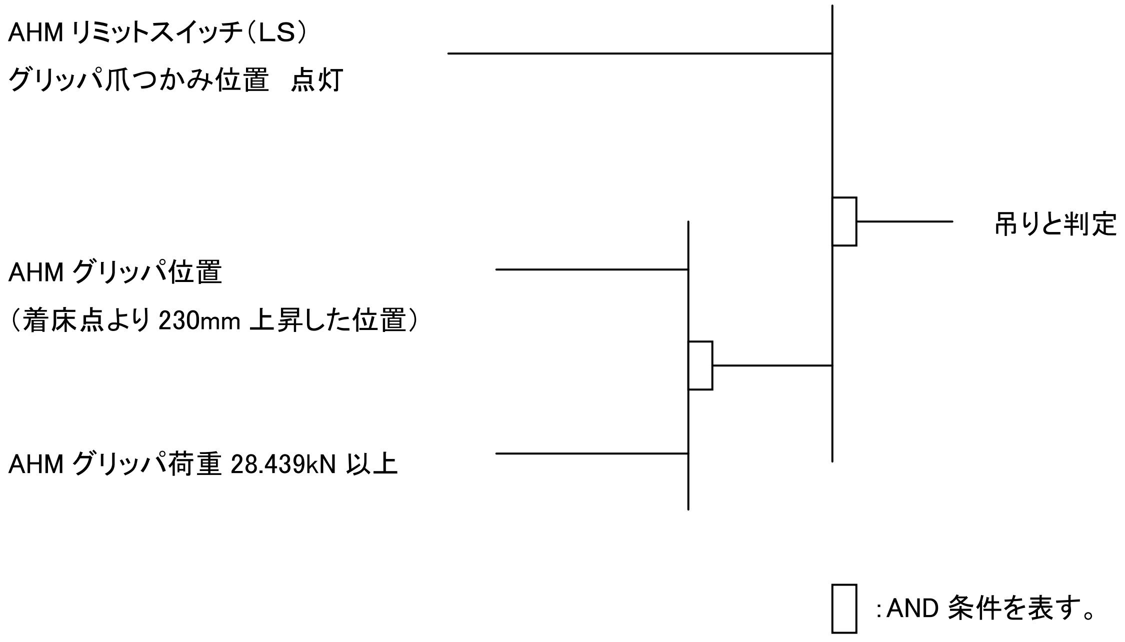
② AHMグリッパ上昇開始からIVTM本体のハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間を比較すると、今回は約 12 秒であり、前回及び前々回より約 3 秒（昇降ストロークに換算すると約 15mm）長い。（爪開閉ロッドが回転したことによって、グリッパ爪の位置が正常時と比べて下がり、正常時より多く引き上げる必要が生じた結果、約 3 秒遅れてグリッパ爪にIVTM本体の荷重がかかったことが考えられる。）

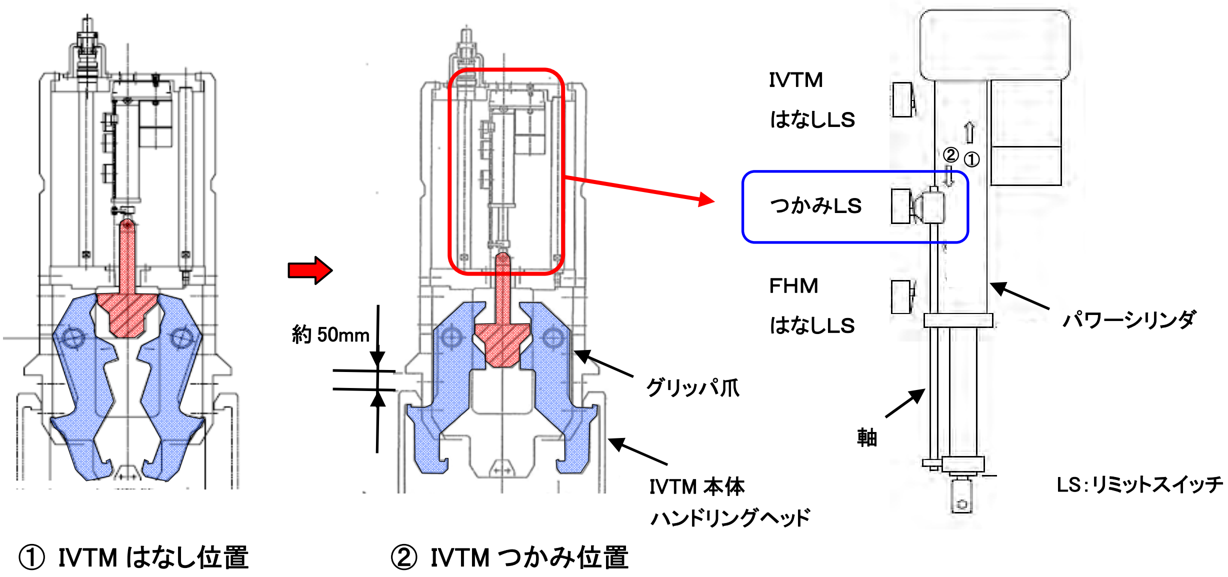
③ AHMグリッパが上昇し始めてIVTM本体の荷重を受け始める段階で $6.1 \times 10^2$N 程度の荷重が増加し瞬時に低下している。（その段階でIVTM本体にかかっていたグリッパ爪がIVTM本体から外れ、一方のグリッパ爪で片吊りになったことが考えられる。）

④ AHMグリッパ昇降荷重は今回のケースのみ約 $0.3 \times 10^4$N増加している。（これは、IVTM本体の荷重をAHMグリッパで受けたのち、AHMグリッパと上部案内筒との接触で生じたものと考えられる。）

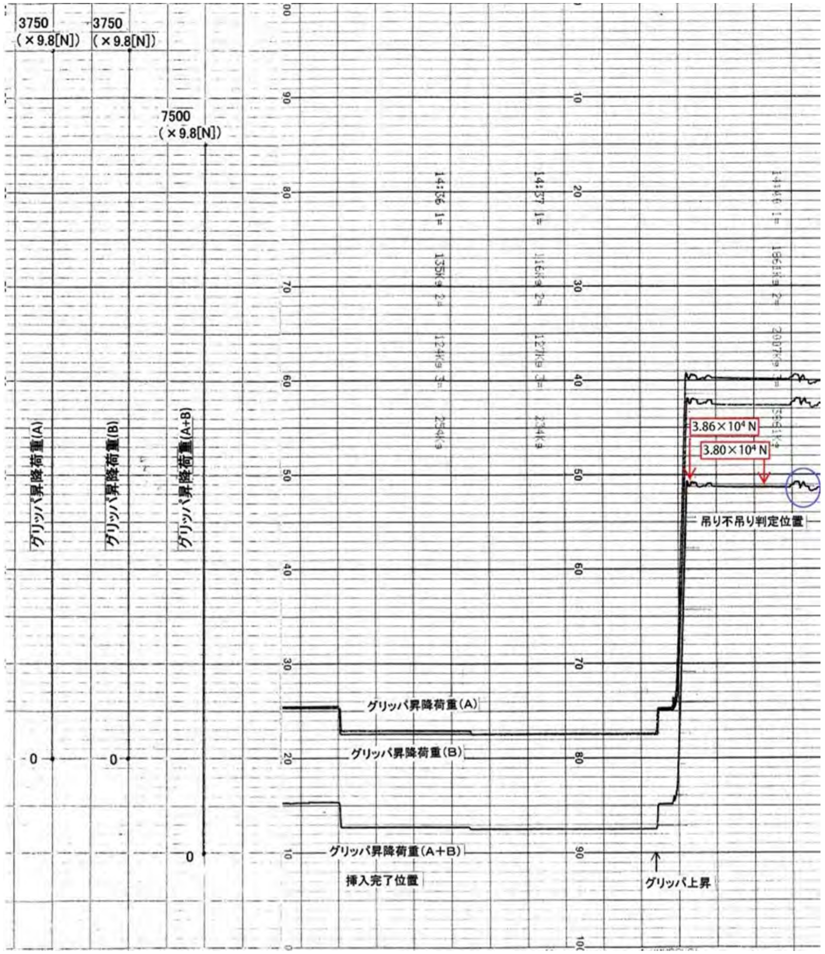
以上のことから、AHMの吊り・不吊り判定機能は、その判定を一定の高さまで持ち上げた位置において、IVTM本体の所定の荷重があるかどうかで判定を行っており、AHMグリッパの形状の健全・不健全を検知する機能は有していないことを確認した。

以上

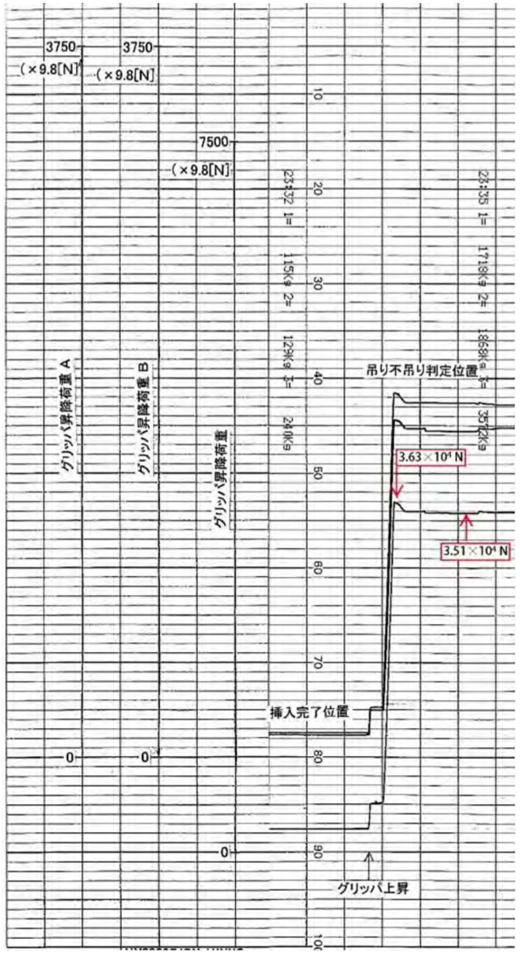


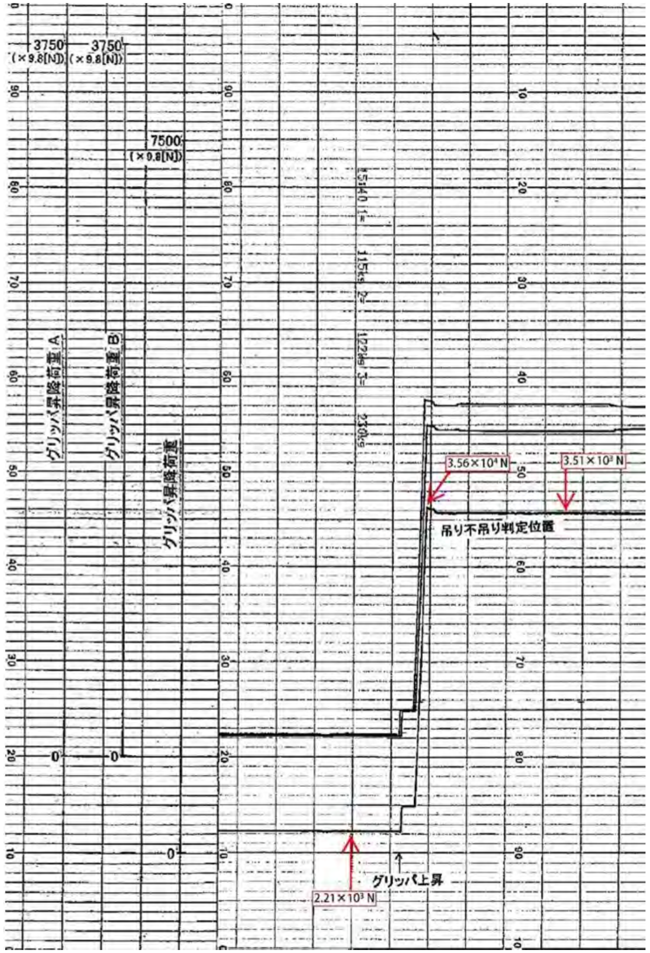

図−1　AHM における IVTM 本体吊り・不吊り判定インタロック




平成22年8月26日




平成21年7月21日




平成20年3月26日

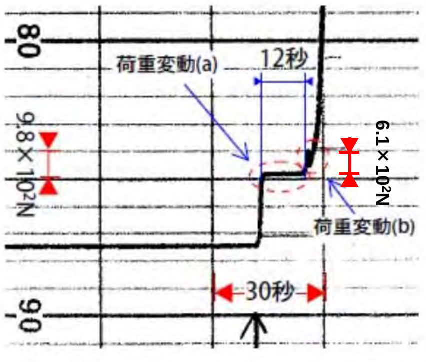
吊り･不吊り判定位置の
IVTM本体吊り上げ荷重値の比較

| 取扱時期 | 荷重値 |
|---|---|
| 平成22年8月26日 | **$3.86 \times 10^4$N** |
| 平成21年7月21日 | **$3.63 \times 10^4$N** |
| 平成20年3月26日 | **$3.56 \times 10^4$N** |

吊り･不吊り判定位置通過後の
IVTM本体吊り上げ荷重値の比較

| 取扱時期 | 荷重値 |
|---|---|
| 平成22年8月26日 | **$3.80 \times 10^4$ N** |
| 平成21年7月21日 | **$3.51 \times 10^4$ N** |
| 平成20年3月26日 | **$3.51 \times 10^4$ N** |

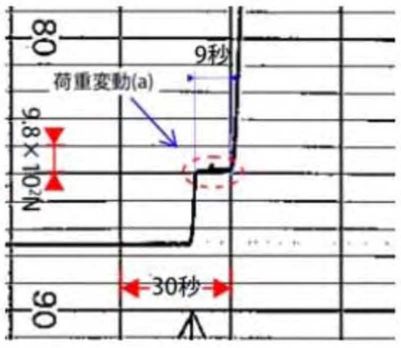
図-2 IVTM本体吊り上げ時の荷重トレンドの比較




AHMグリッパ上昇開始

AHMグリッパが上昇開始からIVTM本体のハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間：約12秒

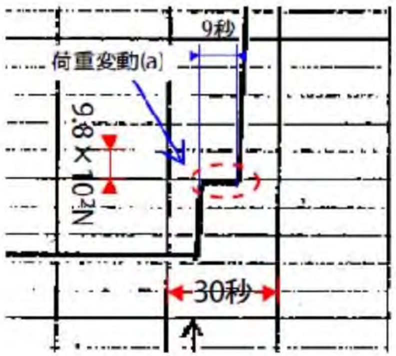
平成22年8月26日




AHMグリッパ上昇開始

AHMグリッパが上昇開始からIVTM本体のハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間：約9秒

平成21年7月21日




AHMグリッパ上昇開始

AHMグリッパが上昇開始からIVTM本体のハンドリングヘッドをつかみ、荷重が増加し始めるまでの時間：約9秒

平成20年3月26日

荷重が増加し始めるまでの時間の比較

| 取扱時期 | 時間 |
|---|---|
| 平成22年8月26日 | **約12秒** |
| 平成21年7月21日 | **約9秒** |
| 平成20年3月26日 | **約9秒** |

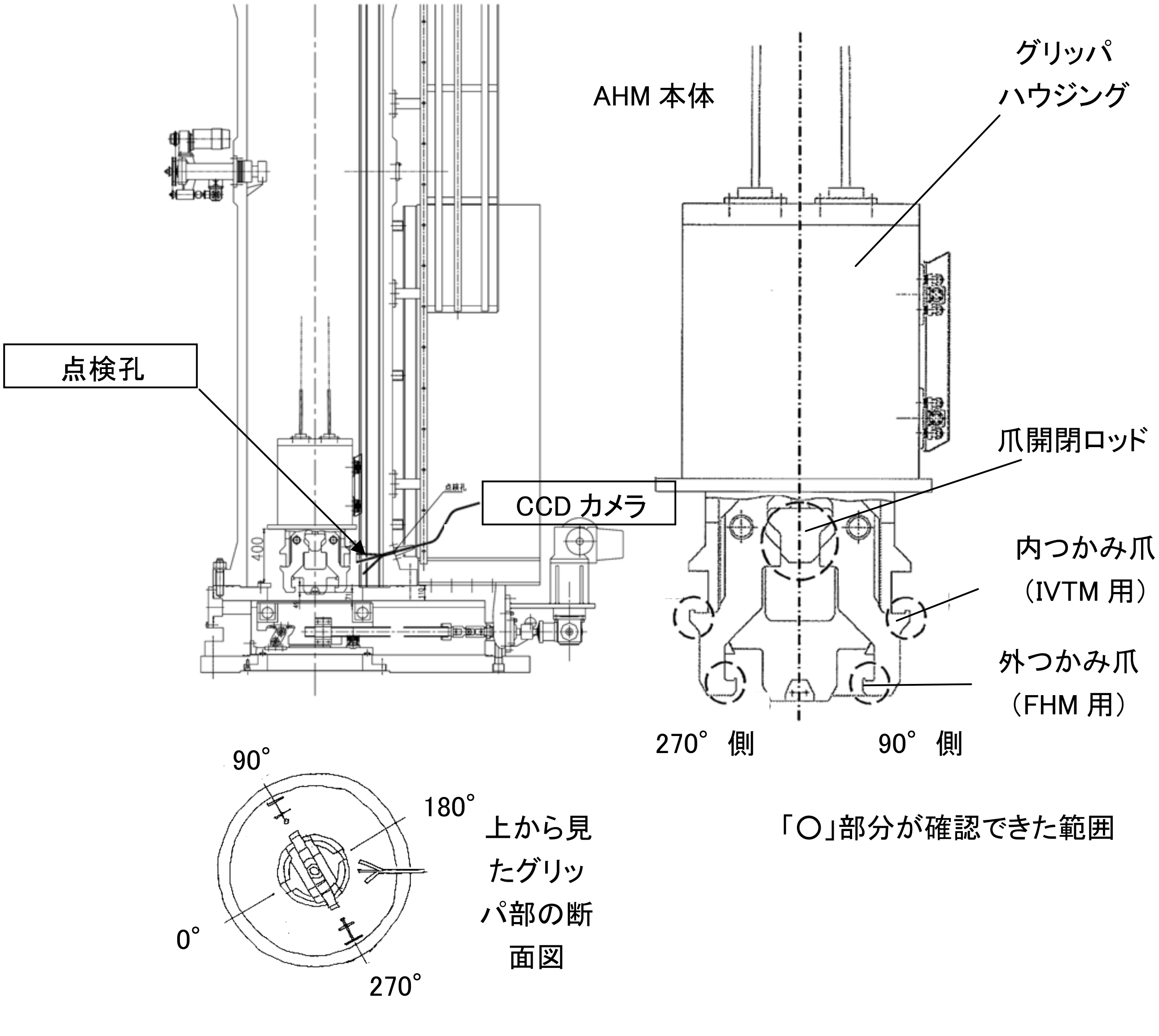
図-3　吊り上げ開始直後　荷重変動の拡大図の比較

## 添付資料-10-7：AHMグリッパの外観調査結果（現地）

事象発生後のAHMグリッパの状況を確認する初期調査として、グリッパ爪の折損や傷等の有無、グリッパ爪の開閉具合を確認するため、AHMが燃料出入孔用接続筒上に据付けられた状態で、AHMドアバルブを閉じた後にグリッパを手動でグリッパ昇降位置ストローク 13300mm 位置まで巻下げ、プラバック作業にて AHM ドアバルブ点検孔（φ20mm）からCCDカメラを挿入し外観を調査した。外観確認方法及び調査箇所を図-1 に示す。その結果、図-2～図-4 に示すようにその映像から次の点を確認した。

① 90° 側及び 270° 側の両グリッパ爪について、可視できる範囲では異常は確認できなかった。

② 爪開閉ロッドが正常な位置に対して約 90° 回転していた。




AHMグリッパ外観確認方法　　　AHMグリッパ外観調査箇所

図−1 AHMグリッパ外観確認方法と調査箇所

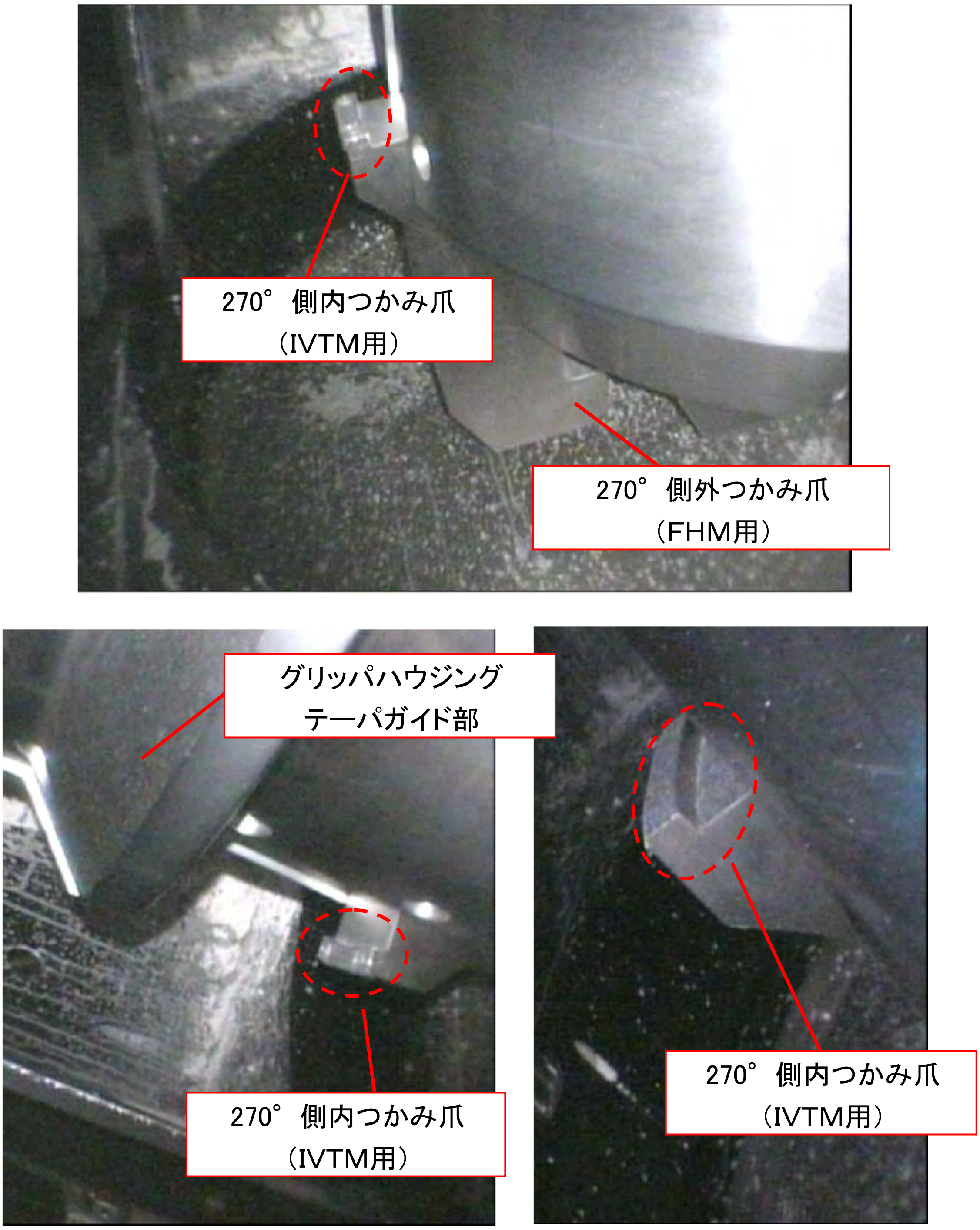
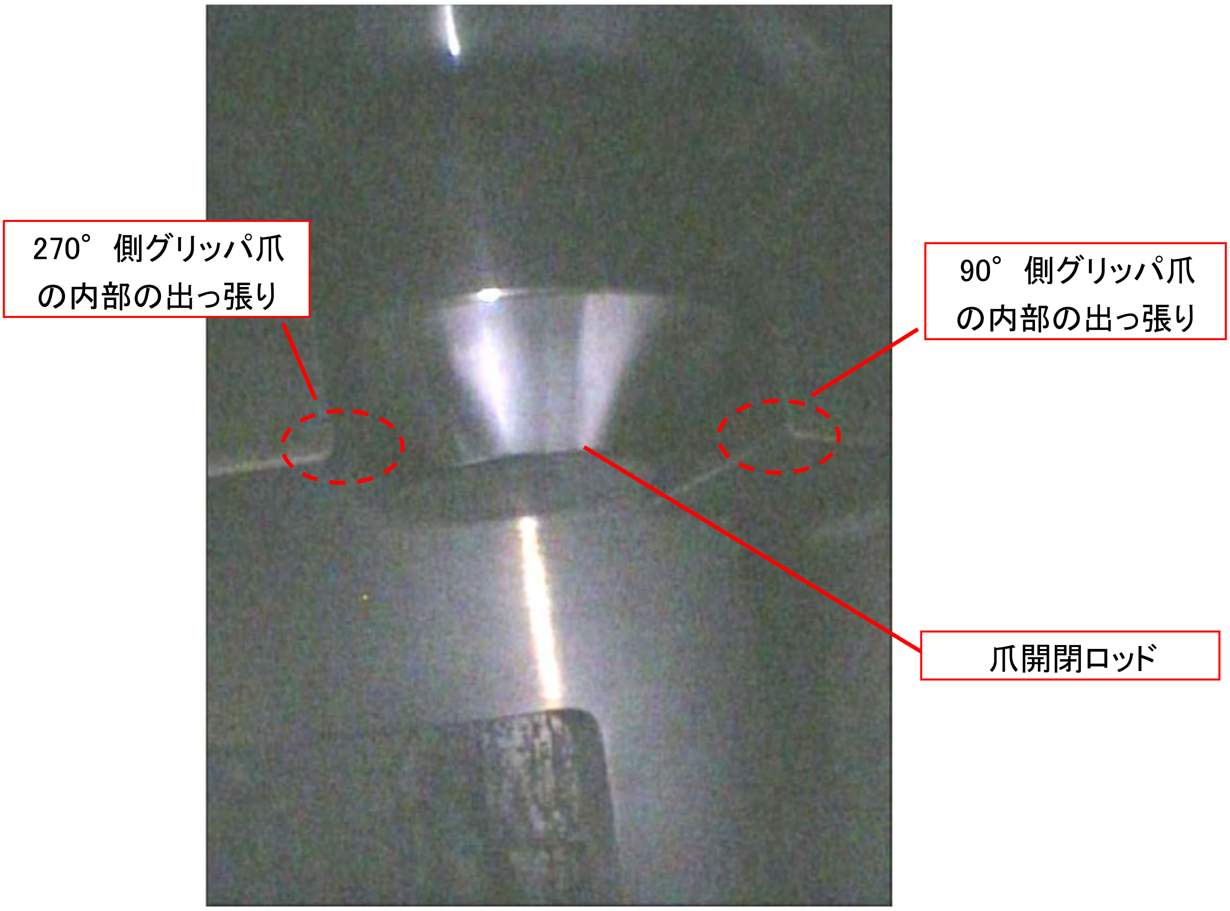
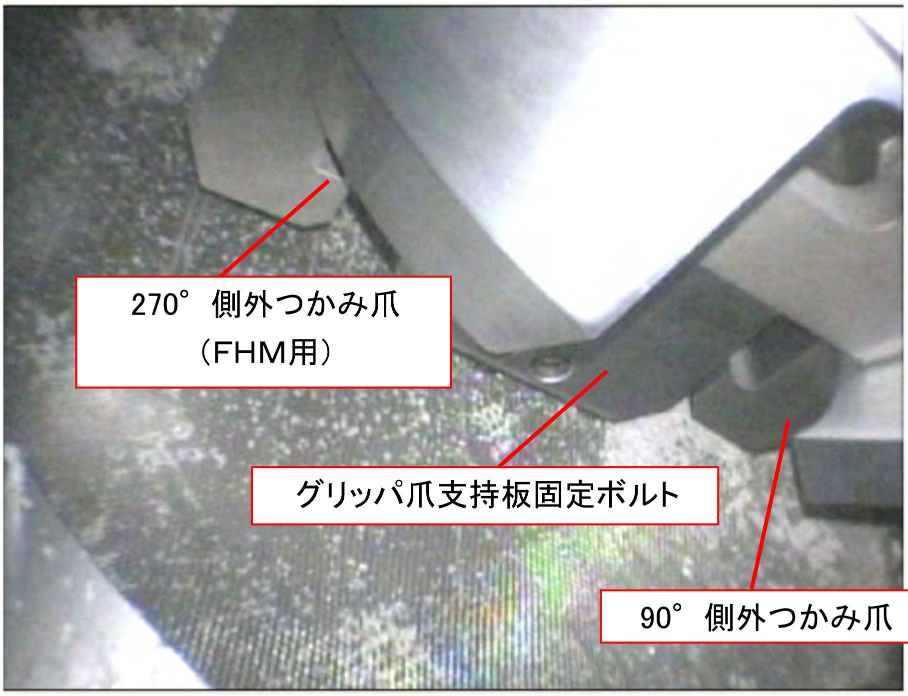



図-2　AHMグリッパ外観調査結果（1）




図−3　AHMグリッパ外観調査結果（2）



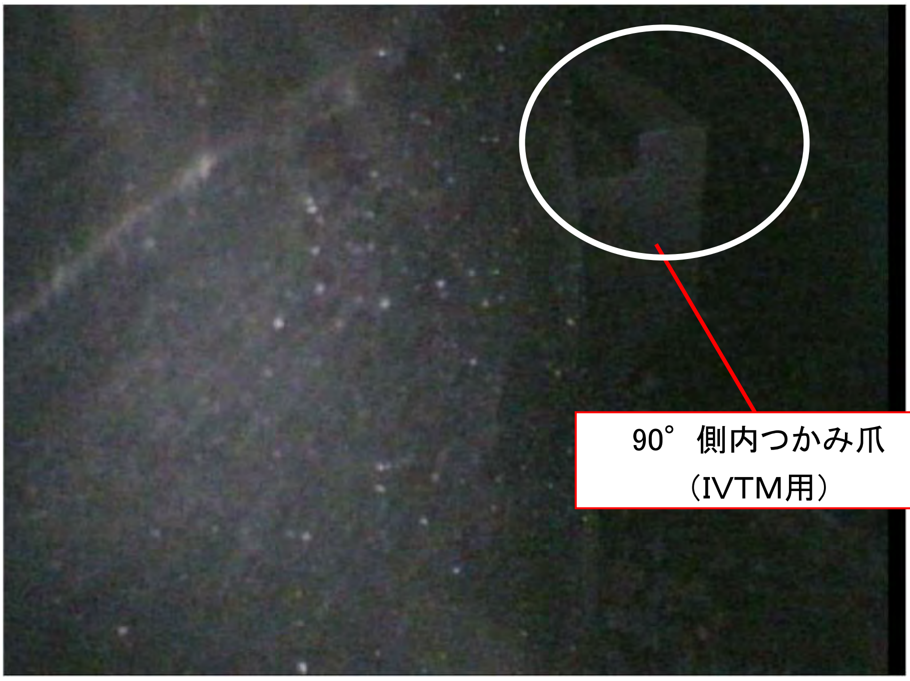




図-4 AHM グリッパ外観調査結果（3）

添付資料-10-8：AHMグリッパの分解調査結果（現地）

爪開閉ロッドが約 90° 回転した原因を特定するため、AHMをM/B内の機器試験ピットに移送し、AHMグリッパ分解調査を実施した。調査の結果、爪開閉ロッドが正常な位置から約 90° 回転した状態であることを確認した。また、爪開閉ロッドとパワーシリンダを接続するU字金具のねじが締まる方向へ手回しで約 90° 回すことが可能であることを確認した。

一方、グリッパ爪の状態を確認した結果、内つかみ爪のうち 270° 方向の先端部にずれ痕を確認した。また、90° 方向のグリッパ爪においては、ずれ痕は認められないものの、グリッパ爪の側面にすり傷を確認した。

AHMグリッパの分解調査の内容と結果の詳細を次に示す。

1．分解調査内容

分解調査は、図-1 に示すとおり、グリッパ分解前とグリッパハウジング上部取外し後に実施した。

2．分解調査結果

AHMグリッパの構成部品を図-2 に示す。

（1） 外観調査

① 爪開閉ロッド

調査箇所を図-3 に示す。

・ 図-4 に示すとおり、爪開閉ロッドが正常な位置に対して約 90° 回転している状態を確認した。

② グリッパ爪

調査箇所を図-5 に示す。

・ 図-6 に示すとおり、90° 方向のグリッパ爪には、ずれ痕はなかったが、グリッパ爪側面にすり傷を確認した。
・ 図-7 に示すとおり、270° 方向のグリッパ爪には、先端の引っかかり部にIVTM本体がグリッパ爪上からずれ落ちた過程で付いたと考えられるずれ痕を確認した。

③ グリッパハウジング

図-8 に示すとおり、270° 方向上端外周部において次の痕跡等を確認した。

・ 上部案内筒内面と接触した痕跡を確認した。
・ AHMグリッパが引き上げられて上部案内筒上端部を通過する際に接触したと思われる、幅 15mm、長さ 110mm の擦ったような傷痕を確認した。

④ 爪開閉ロッドの回転状況の確認

・ 図-9 に示すとおり、手で、U字金具をパワーシリンダ駆動軸に締め付ける方向に軽く回せる状態にあることを確認した。

⑤ パワーシリンダ

図−10 に示す、爪開閉ロッドの動作にかかわる部位について、変形等の異常の有無を確認した。

- ガイドバー　　：傷は確認されず、変形等の異常はなかった。
- U字金具　　　：脱落、変形はなく、パワーシリンダロッドにワッシャを介して取り付けられており、ねじの溶接取付部も異常はなかった。
- 連結ピン　　　：正常に取り付けられており、外観上異常はなかった。

(2) 各部の寸法測定

① 爪開閉ロッドの回転角度

- 図−11 に示す箇所の寸法測定結果から、爪開閉ロッドの回転角度を算出したところ、正常な位置より約 90°回転していることを確認した（回転角度の算出は図−12 参照）。

② 内つかみ爪位置（開き幅）、爪開閉ロッド位置（グリッパ爪支持板下端からの爪開閉ロッド位置）

- 図−13 に示す箇所の寸法測定結果から、内つかみ爪の開き幅は、公称値（510mm）に対し約 33mm 少ない 477.03mm であった。爪開閉ロッドは、グリッパ爪支持板下端から 316mm の位置、公称値（314.5mm）に近い位置にあった。よって、爪開閉ロッドは正常に駆動したが、爪開閉ロッドが回転していたことによって正常にグリッパ爪が開閉できる状態になかったことを確認した。
- IVTM本体のハンドリングヘッド内径 430mm に対して、爪開閉ロッド押付け時の爪開き幅が 440.47mm であるため、片グリッパ爪に約 5mm 引っかかる状態（爪開閉ロッドが中心位置にある場合）にあったと推定される。

③ AHMグリッパ傾き量

- 図−14 に示す箇所の寸法測定結果から、AHMグリッパ傾き量を算出したところ、垂直に保持されていることを確認した（AHMグリッパ傾き量の算出は図−15 参照）。

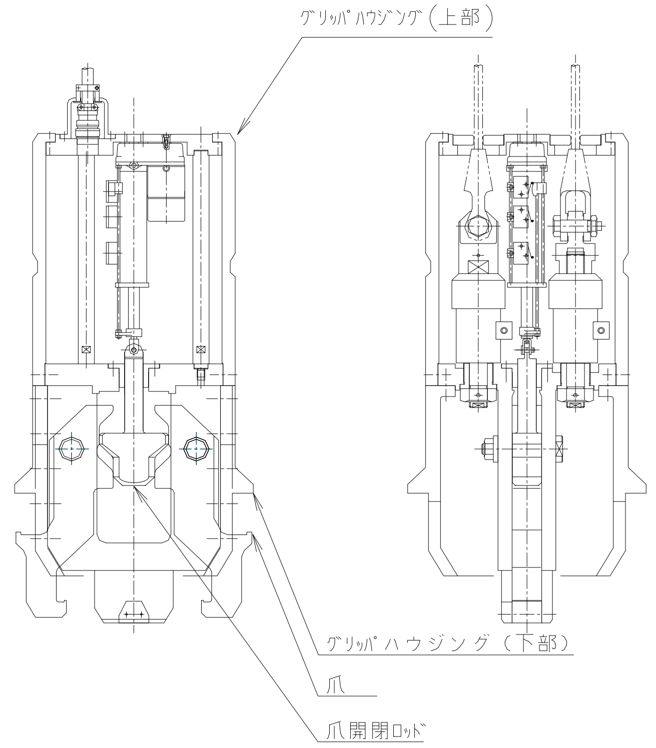
④ グリッパ爪支持板先端とグリッパ爪との隙間

- 図−16 に示す箇所の寸法測定結果から、90°方向と 270°方向のグリッパ爪と、180°方向のグリッパ爪支持板先端との隙間が、公称値（片側 2mm）に対してそれぞれ 0.5mm 大きいことを確認した。また、270°方向のグリッパ爪と 0°方向のグリッパ爪支持板先端との隙間が、公称値（片側 2mm）に対して 0.5mm 小さいことを確認した。

⑤ パワーシリンダのロッド下端とU字金具上端との間隙

- 図−17 に示すとおり、爪開閉ロッドが 90°回転した状態で隙間ゲージで測定した結果、1.8mm（0°方向）から 2.0mm（180°方向）であり、同一仕様の新品ワッシャ厚さが 2.09mm（公称厚さ 2mm）であることから、ほとんど締め付けられていない状態であったことを確認した。

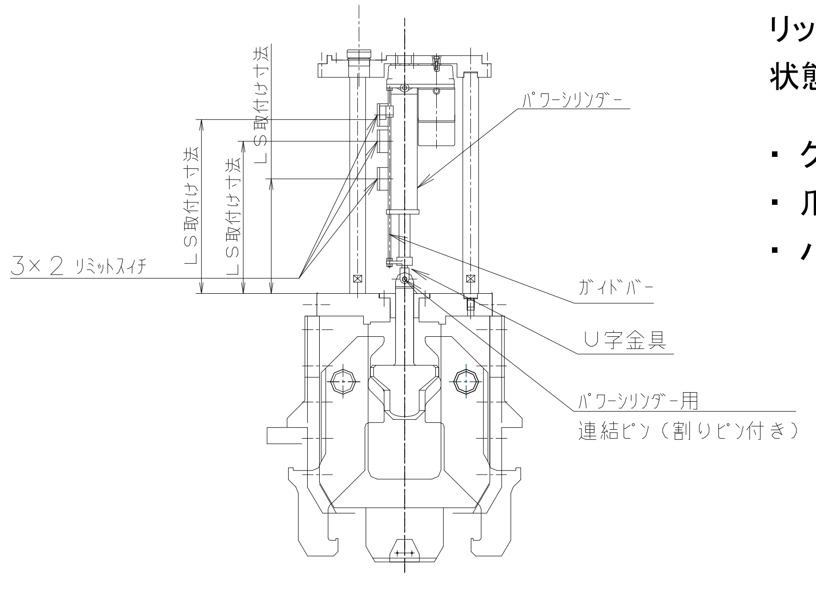
以上




AHMをM／B内機器試験ピットに据付け、ドアバルブを開放して、手動にてAHMグリッパをストローク位置約 17m まで下降させた状態

- 爪開閉ロッドの外観調査
- グリッパ爪の外観調査
- 爪開閉ロッドの回転角度
- 爪内つかみ状態の爪幅及び支持板下端～爪開閉ロッド下端寸法
- AHMグリッパ本体の傾き量

【AHMグリッパ分解前】

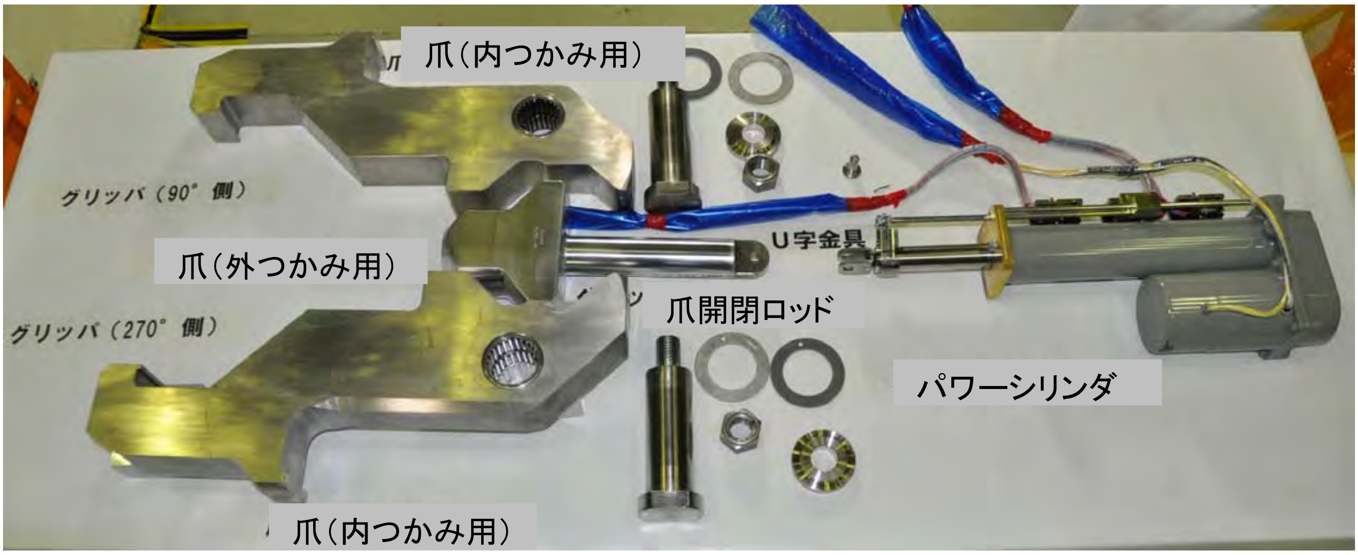



AHMグリッパ分解前の状態より、グリッパハウジング（上部）を取り外した状態

- グリッパハウジングの外観調査
- 爪支持板先端と爪との隙間測定
- パワーシリンダの調査

【グリッパハウジング（上部）取外し後】

図-1 分解調査内容




図−2　AHMグリッパ構成部品

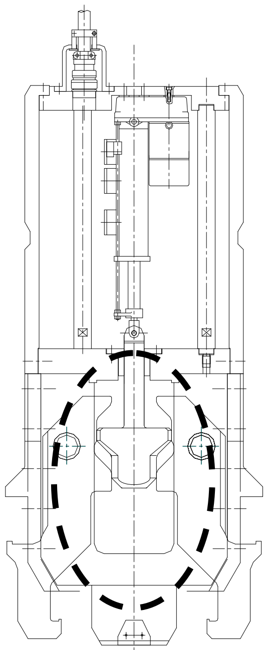


図-3　爪開閉ロッドの外観調査箇所

図-4　爪開閉ロッド外観

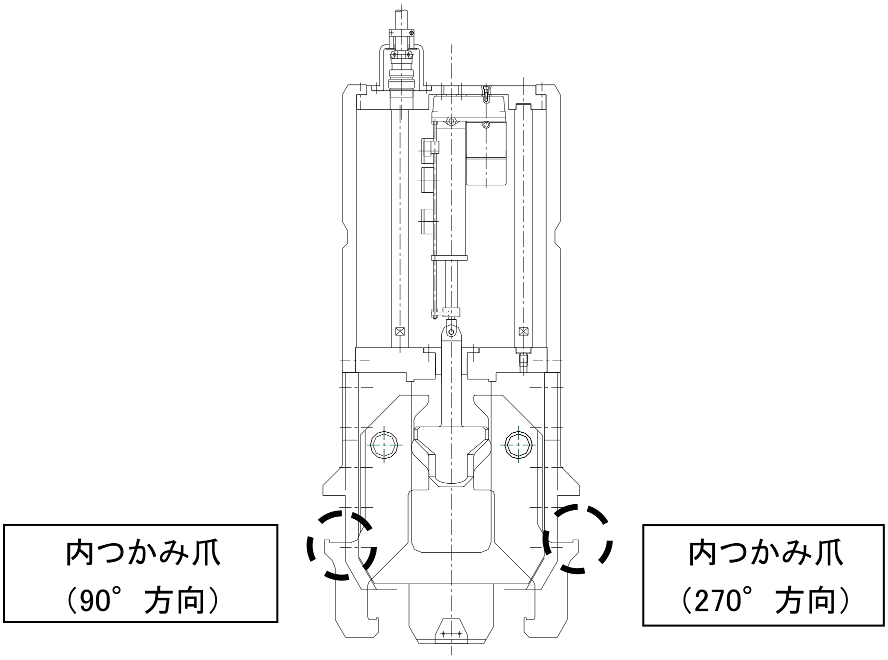



図-5 内つかみ爪の外観調査箇所

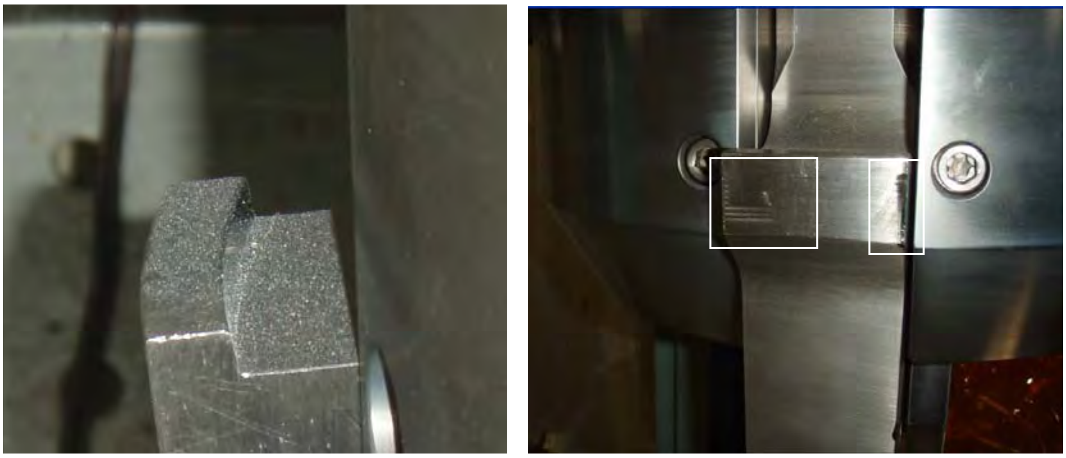


図-6 内つかみ爪(90° 方向)外観

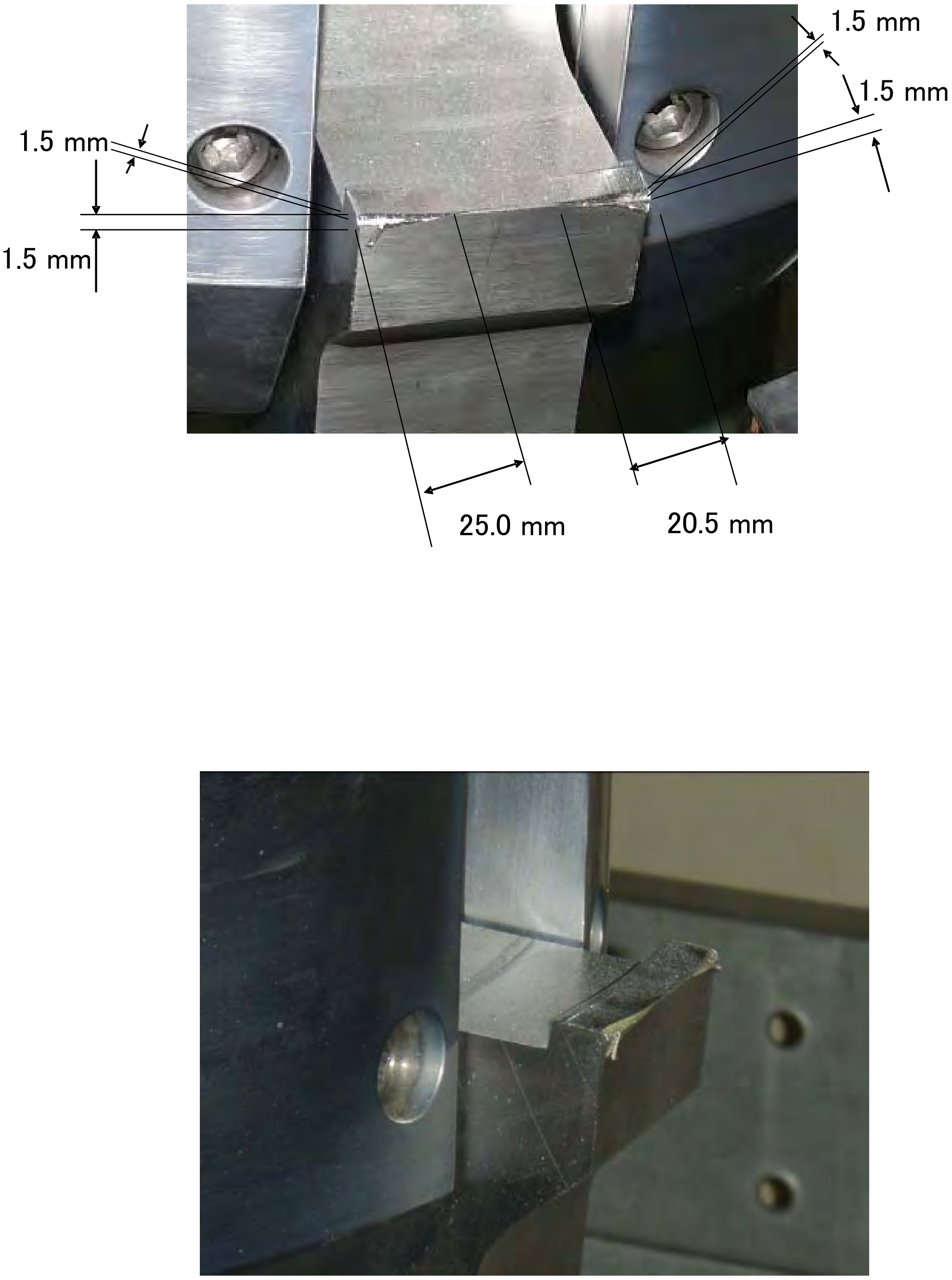
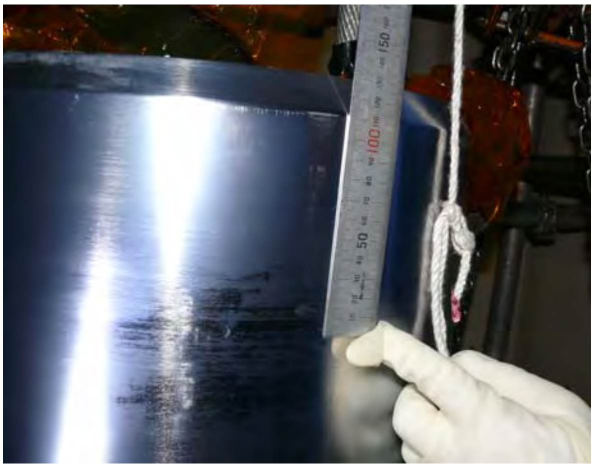
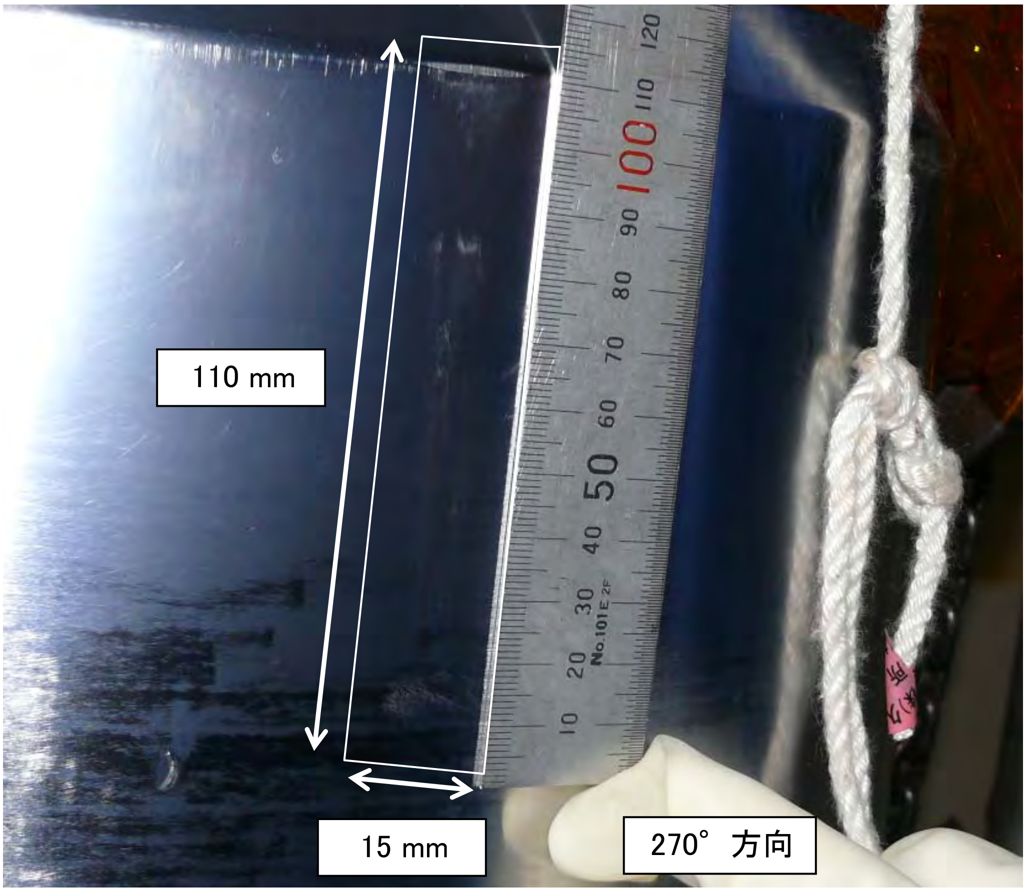



図-7 内つかみ爪(270° 方向)外観

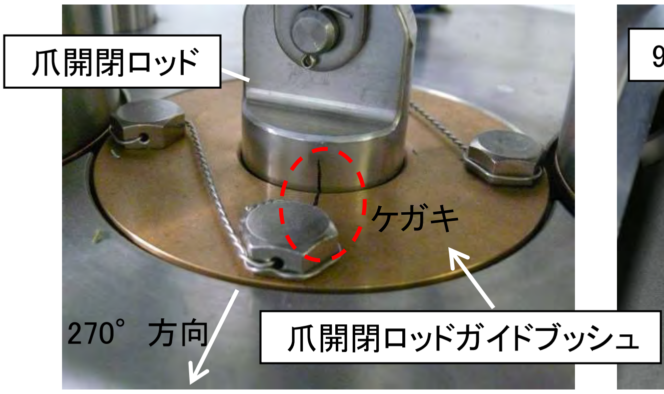



(a) 全体画像

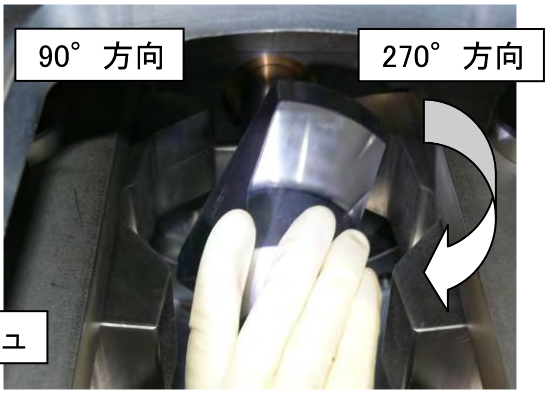



(b)拡大画

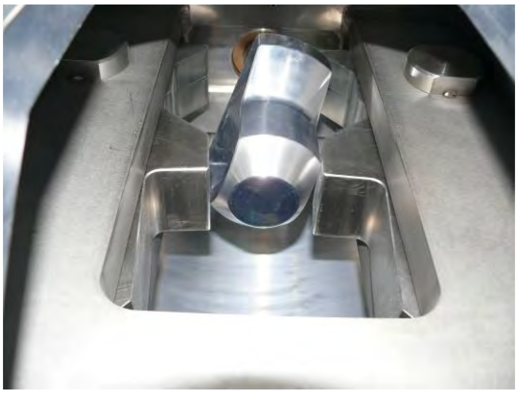
図-8 グリッパハウジングの外観調査結果

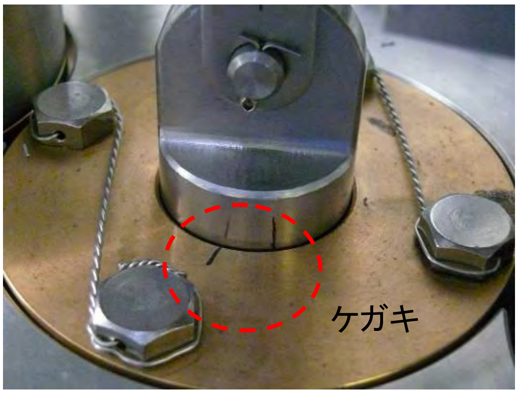


(a)U 字金具-爪開閉ロッド連結部(回転前)



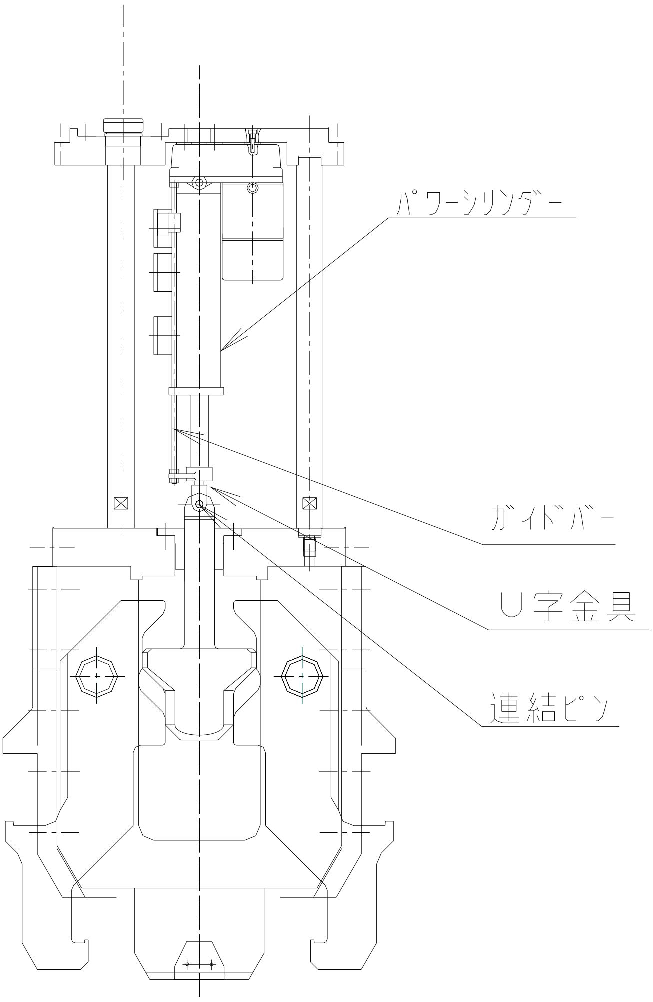
(b)爪開閉ロッドを手動で回転


(c)回転後の爪開閉ロッドの状態

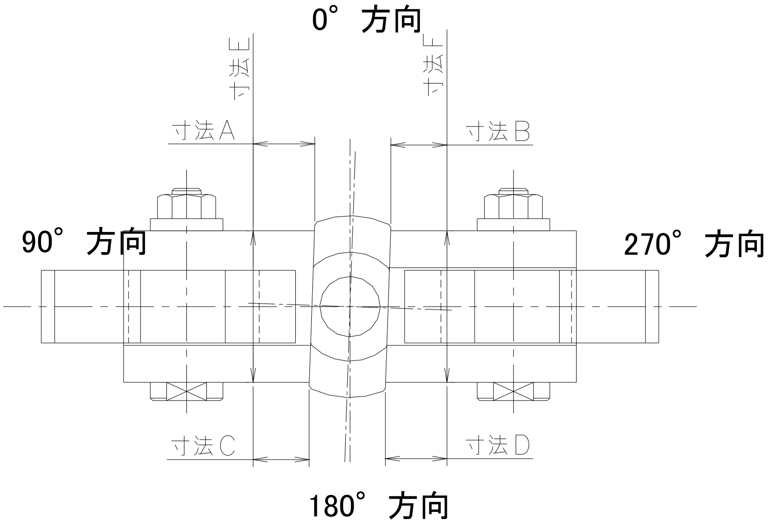


(d) U 字金具-爪開閉ロッド連結部(回転後)

図-9 爪開閉ロッドの回転状況の確認結果




図−10　パワーシリンダ各部



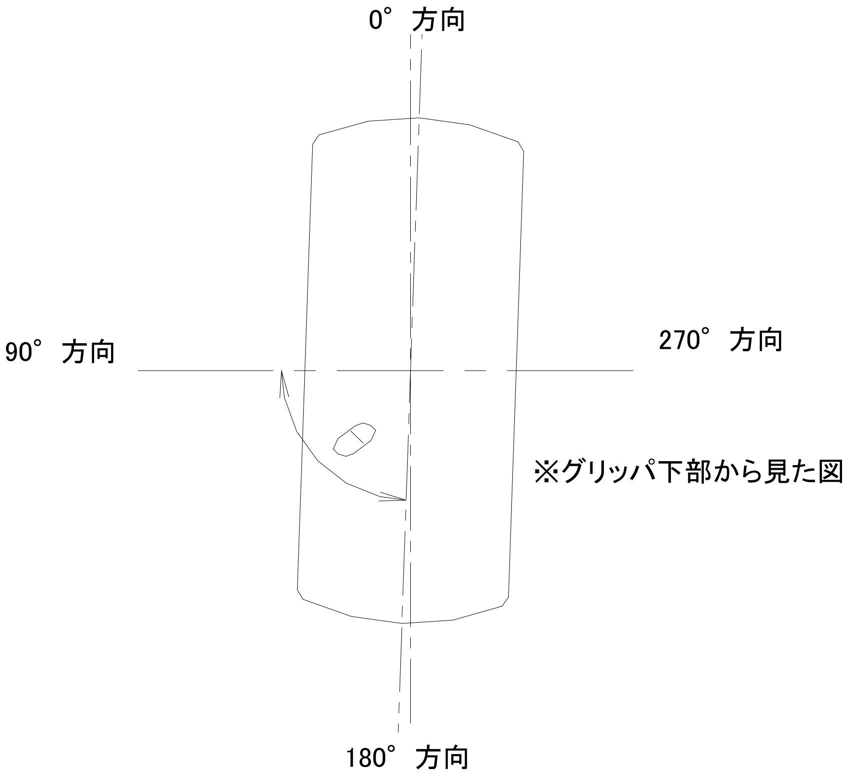

【寸法測定箇所】

| 測定個所 | 測定値 [mm] |
|---|---|
| A | 51 |
| B | 49 |
| C | 47 |
| D | 52 |
| E | 125.18 |
| F | 125.21 |

【寸法測定結果】

注)E、F はノギスで計測

図-11　寸法測定結果（爪開閉ロッドの回転角度）



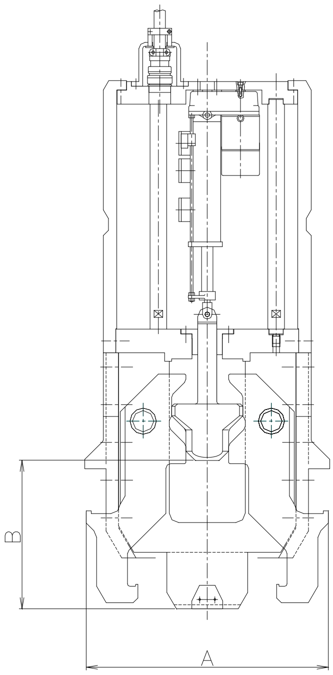

$$爪開閉ロッド回転角度\theta_1 = \arctan\left(\frac{125}{51-47}\right)$$
$$= 88.2°$$
$$\approx 90°$$

※爪開閉ロッド回転角度 $\theta_1$ は、寸法 A、C から算出した。
※グリッパ爪支持板間距離は、図面寸法から 125mm とした。

$$爪開閉ロッド回転角度\theta_2 = \arctan\left(\frac{125}{52-49}\right)$$
$$= 88.6°$$
$$\approx 90°$$

※爪開閉ロッド回転角度 $\theta_2$ は、寸法 B、D から算出した。
※グリッパ爪支持板間距離は、図面寸法から 125mm とした。

図-12 爪開閉ロッドの回転角度の算出



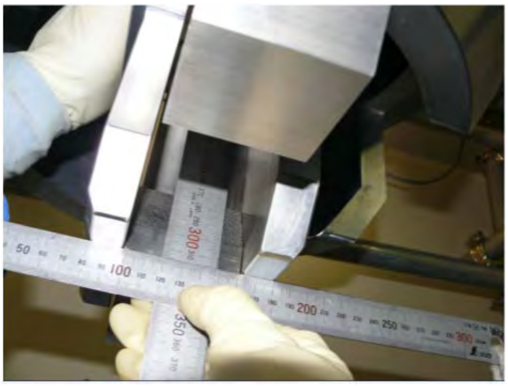

【寸法測定位置】

単位〈mm〉

| 測定個所 | 実測値 | | 公称値 |
|---|---|---|---|
| | 爪フリー時 | 爪押付時 | |
| A:内つかみ爪開き幅 | 477.03 | 440.47 | 510 |
| B:グリッパ爪支持板下端～爪開閉ロッド下端 | 316 | | 314.5 |

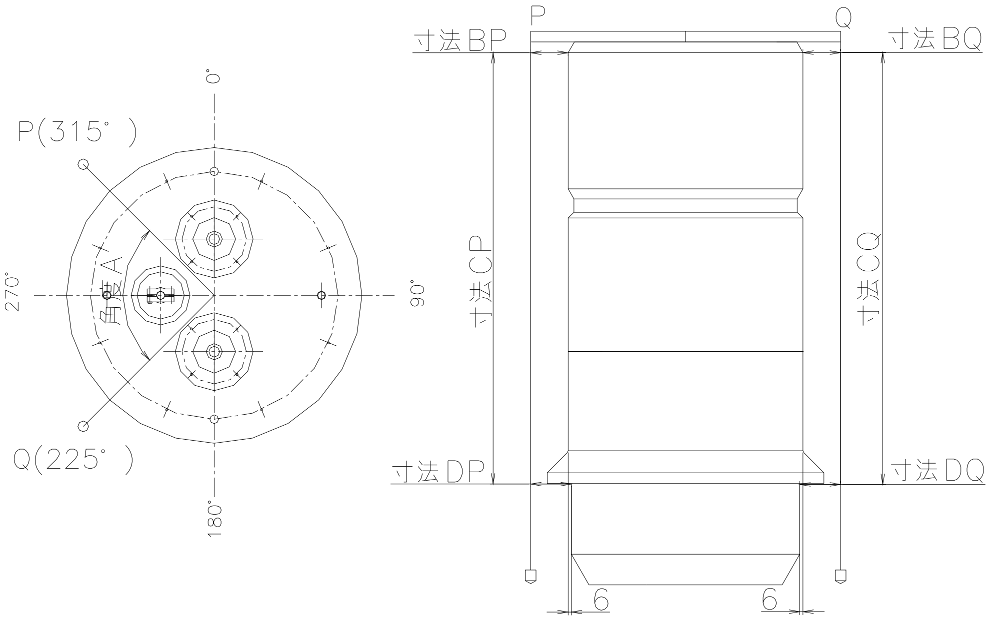
【寸法測定結果】

(a) 内つかみ爪開き幅



(b)グリッパ爪支持板下端～爪開閉ロッド下端

図-13　寸法測定の結果(内つかみ爪開き幅、グリッパ爪支持板下端～爪開閉ロッド下端)




【寸法測定箇所】

| 測定個所 | 測定値 |
|---|---|
| 角度 A | 90.0 ° |
| 寸法 BP | 70.0 mm |
| 寸法 CP | 804.0 mm |
| 寸法 DP | 77.5 mm |
| 寸法 BQ | 70.0 mm |
| 寸法 CQ | 805.5 mm |
| 寸法 DQ | 77.5 mm |

【寸法測定結果】

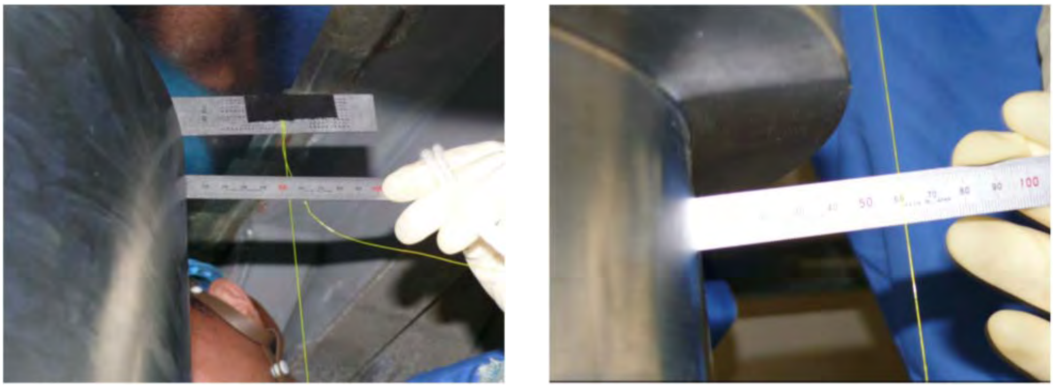
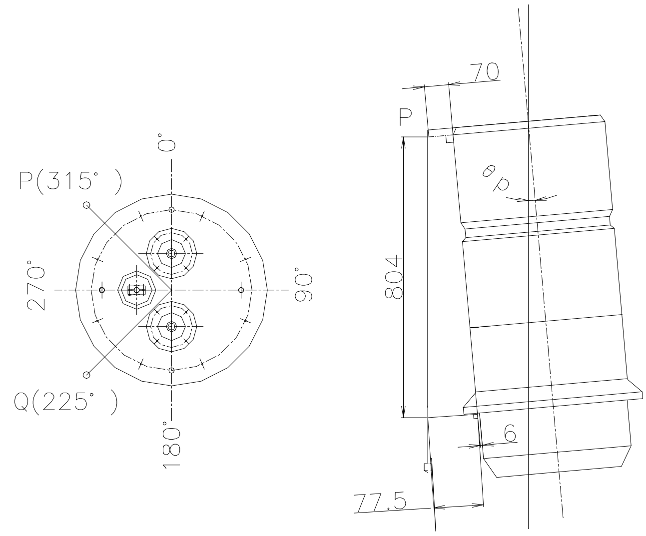


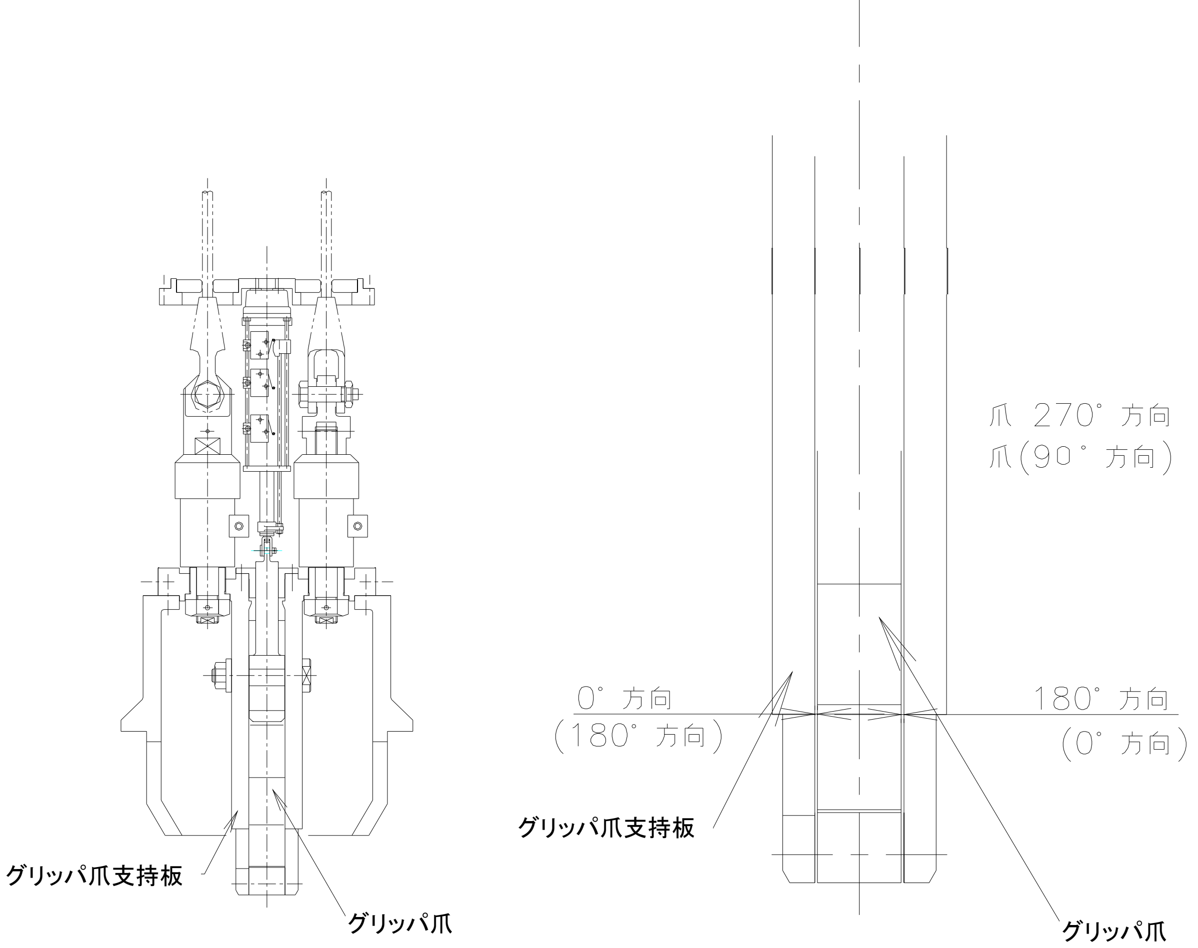
図-14　寸法測定の結果（AHMグリッパ傾き量同定）




$$\text{AHMグリッパ傾き量}\theta_P = \arctan\left(\frac{77.5-70-6}{804}\right)$$
$$=0.1^\circ$$
$$\approx 0^\circ$$

$$\text{AHMグリッパ傾き量}\theta_q = \arctan\left(\frac{77.5-70-6}{805.5}\right)$$
$$=0.1^\circ$$
$$\approx 0^\circ$$

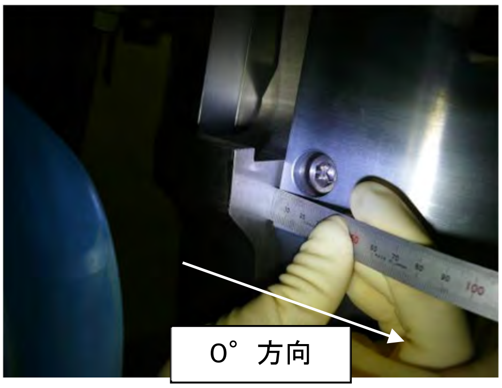
図-15　AHMグリッパ傾き量の算出



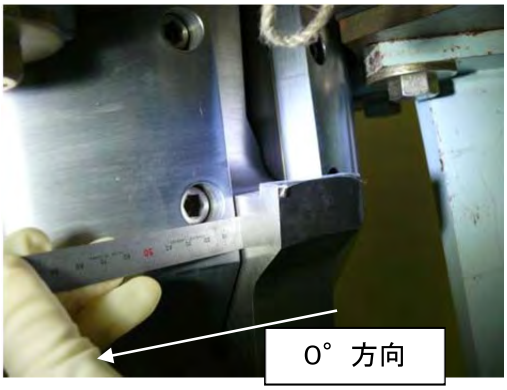

【寸法測定箇所】

| 測定箇所 | グリッパ爪支持板先端とグリッパ爪との隙間測定寸法 | |
|---|---|---|
| | 0°方向 | 180°方向 |
| 90°方向 | 2.0 mm | 2.5 mm |
| 270°方向 | 1.5 mm | 2.5 mm |

【寸法測定結果】　　　　公称値：片側 2 mm

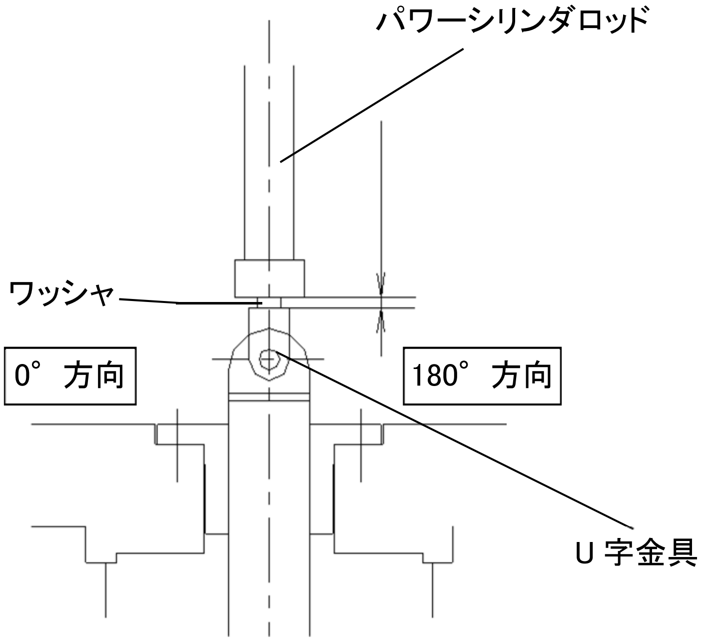



(a)90° 方向のグリッパ爪

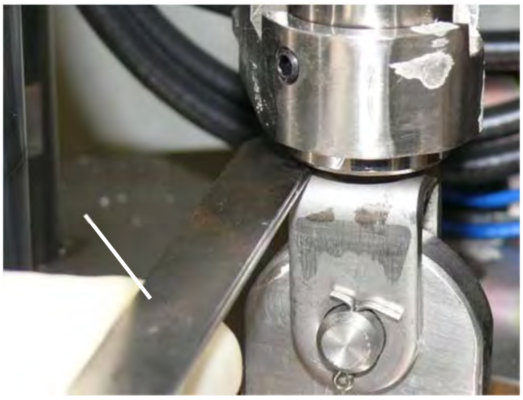



(b) 270° 方向のグリッパ爪

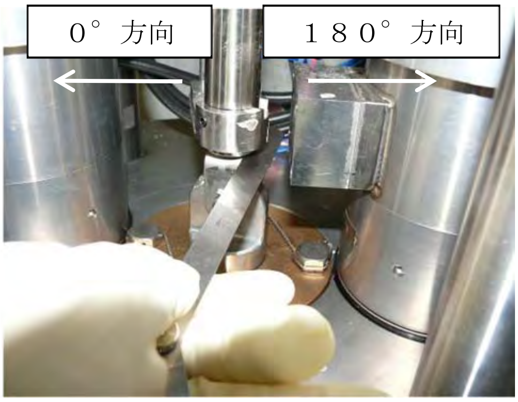
図-16 寸法測定の結果（グリッパ爪支持板先端とグリッパ爪との隙間）




【寸法測定箇所】



0°方向測定




180°方向測定

図−17　寸法測定の結果（パワーシリンダロッド下端からU字金具上端）

添付資料−10−9：AHMグリッパの分解調査結果（爪開閉ロッド）

Ｍ／Ｂ内機器試験ピットでの分解調査後、AHMグリッパの主要構成部品をAHM製作メーカの工場に移送し同工場で外観調査及び寸法測定等を詳細に行った。

1．爪開閉ロッド

外観調査の結果、図−1〜図−7に示すとおり、ロッド先端の90°側、270°側各々にIVTM本体のつかみ時及びFHM本体のつかみ時にグリッパ爪と接触する位置付近に複数個のロッド軸方向の接触痕を確認した。

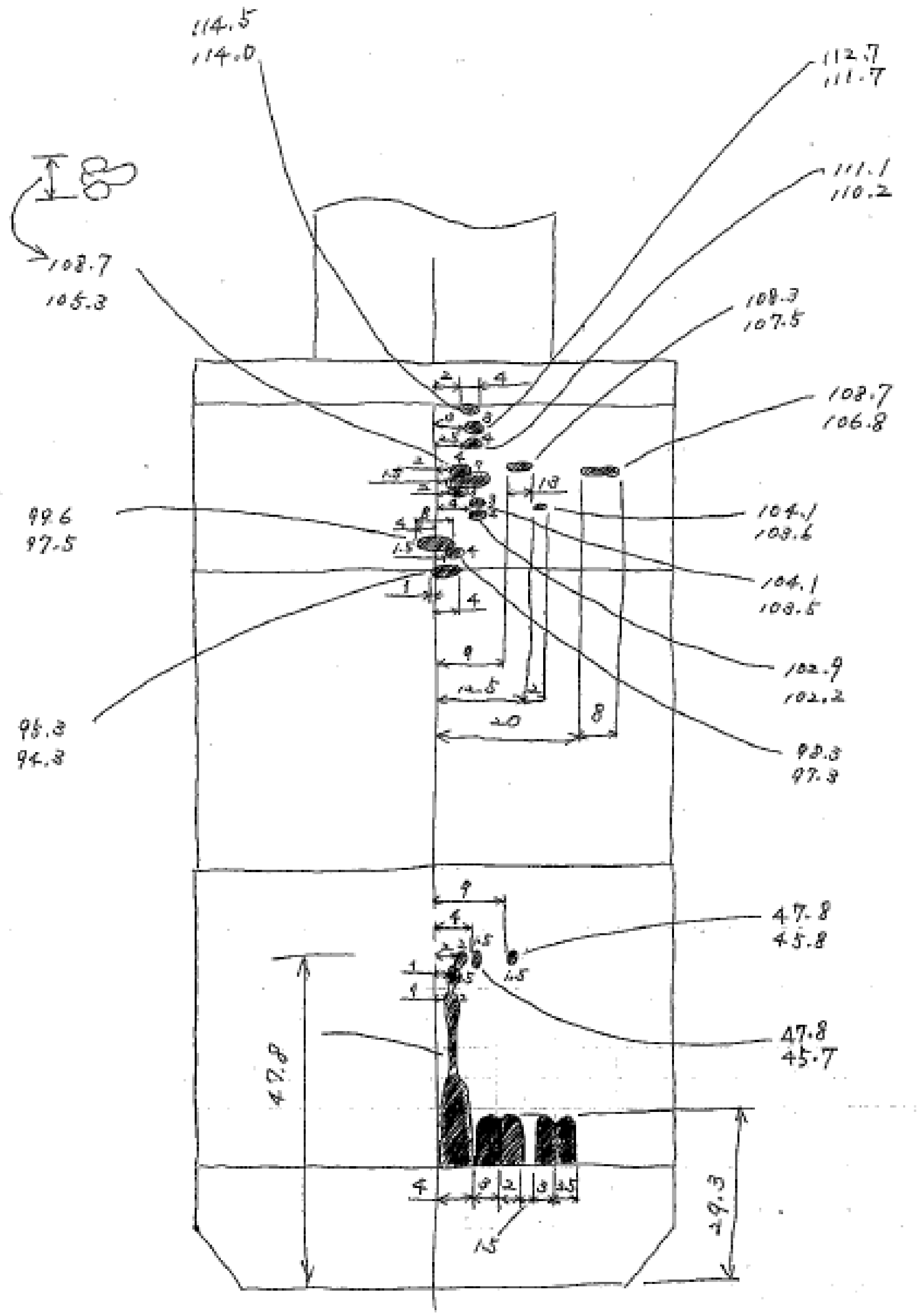
接触痕のスケッチを図−1 に、それらを角度表示したものを図−2 に示す。また、0°側、180°側の先端部にも接触痕を確認した。

図−1の下部中央（正規位置）の接触痕が一番長いことから、長期にわたり、爪開閉ロッドは正規の角度に保持されていたものと推定される。一方、正規位置から緩み方向の円周に沿って、比較的短い痕跡が続いており、一旦爪開閉ロッドの回転が始まれば少ないつかみ回数で回転が進行したものと推定される。

寸法測定の結果を図−8 に示す。その結果、爪開閉ロッド各部の寸法は、設計寸法どおりであり、異常は認められなかった。

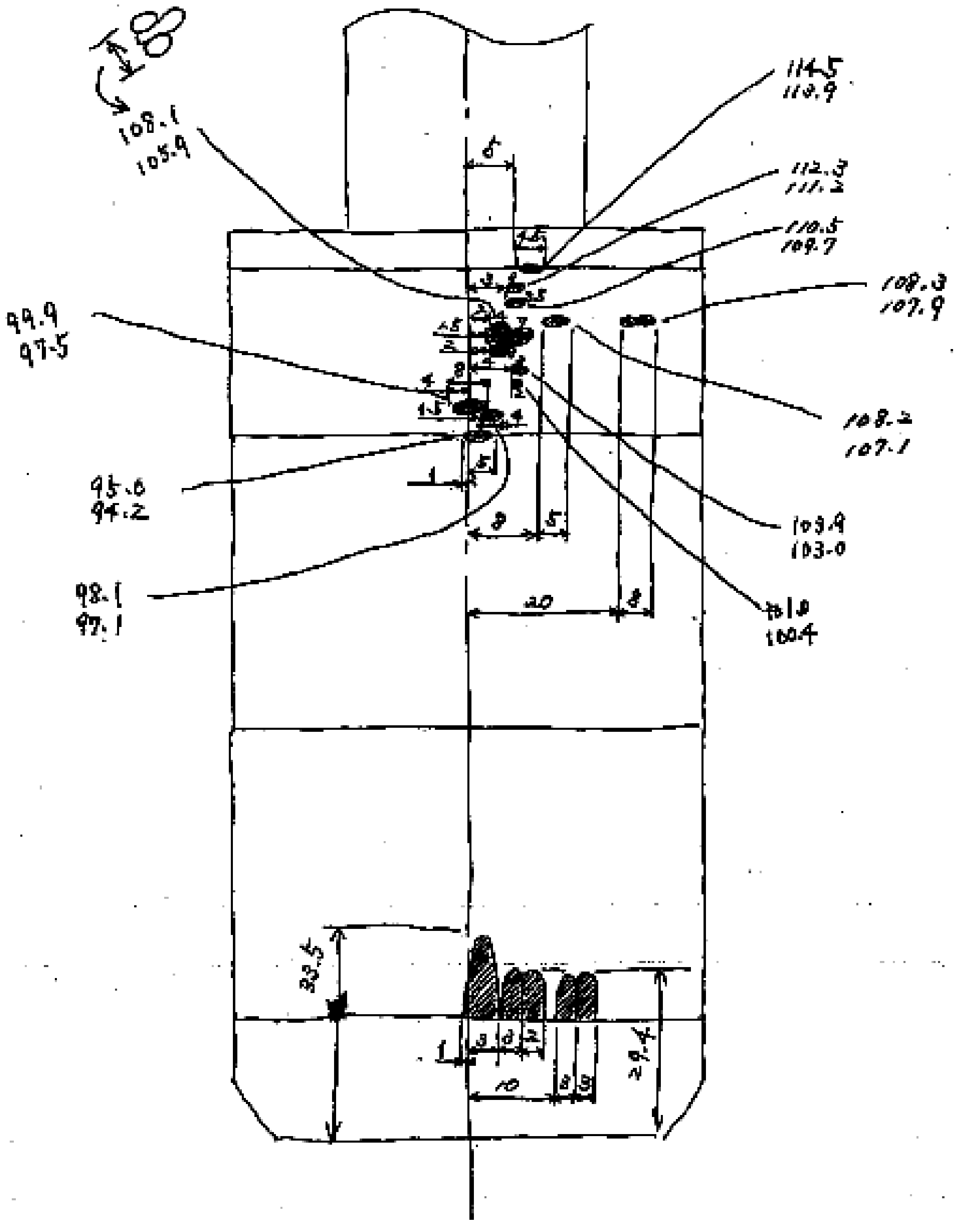
以上

【90° 方位のスケッチ図】




図−1 爪開閉ロッド接触痕位置(1/2)

【270° 方位のスケッチ図】




図−1　爪開閉ロッド接触痕位置（2/2）

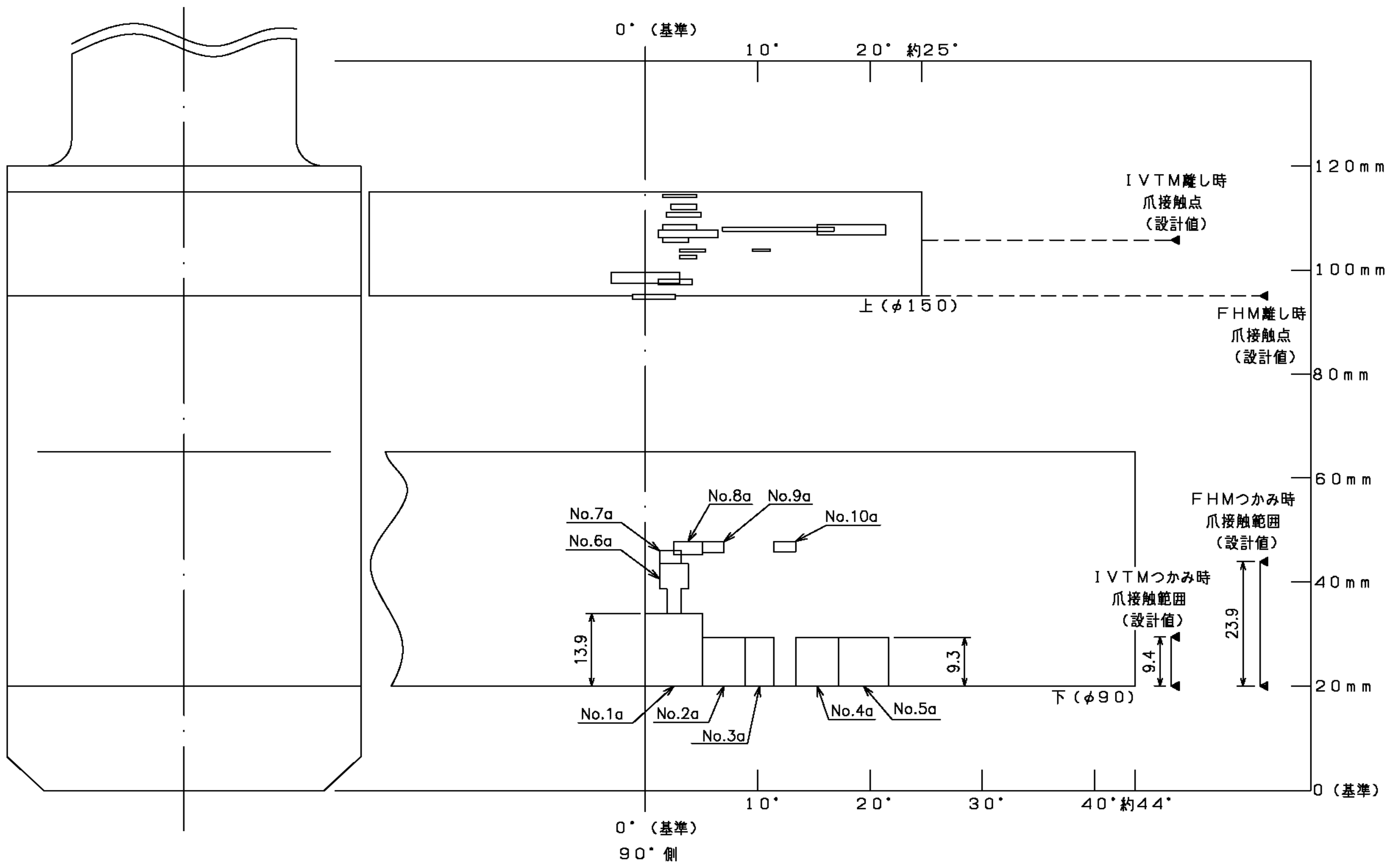



図-2 爪開閉ロッド接触痕位置（角度で表示）(1/2)

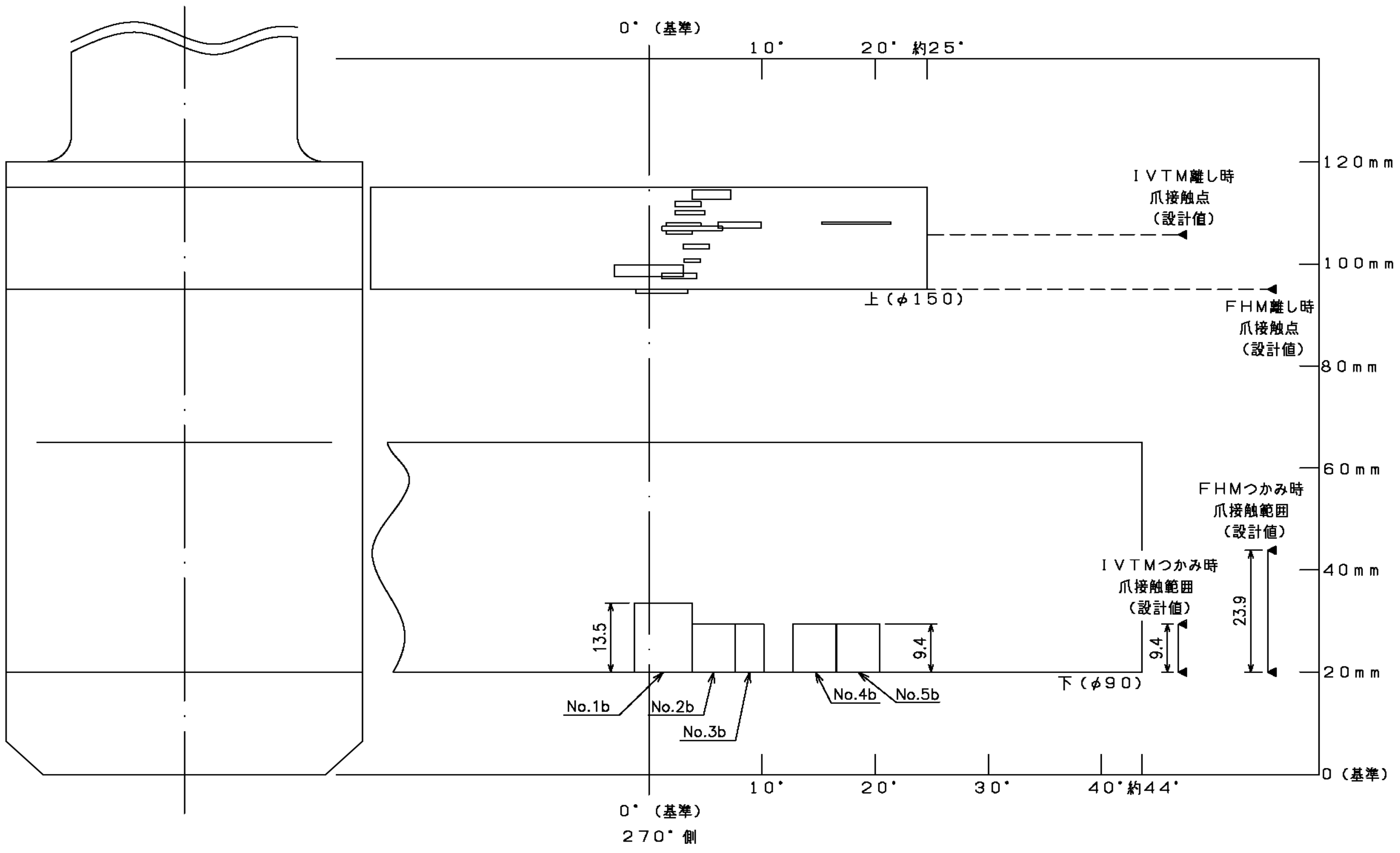
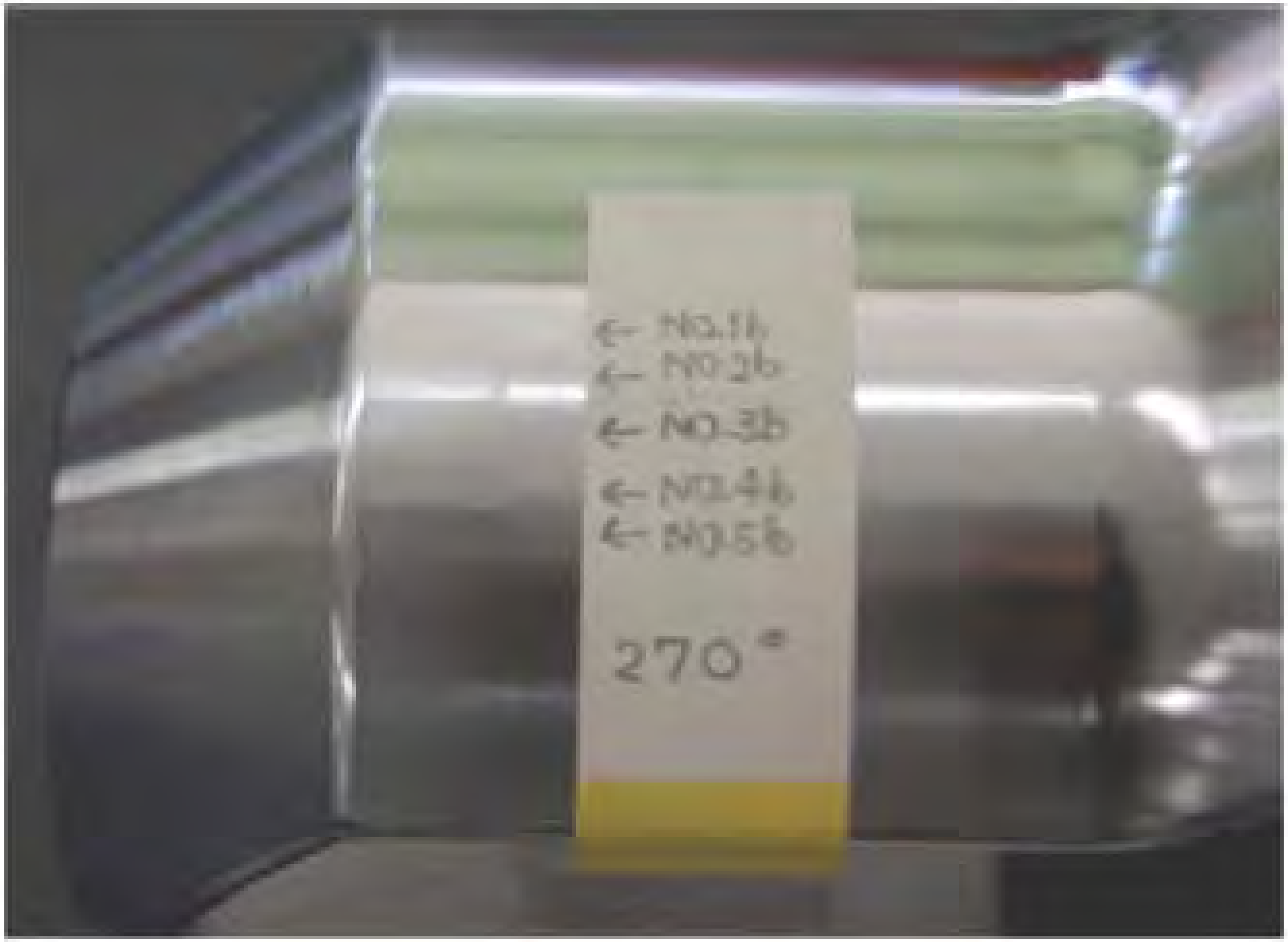
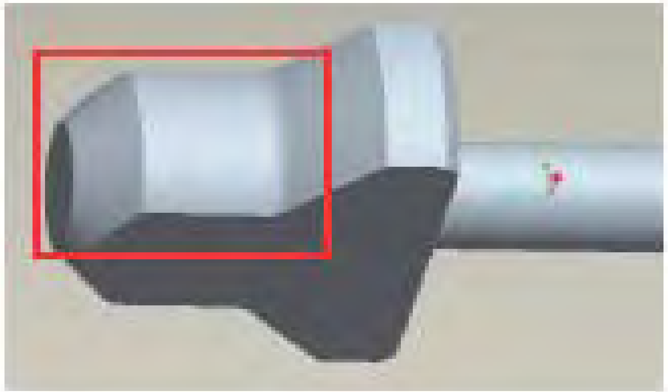



図-2 爪開閉ロッド接触痕位置(角度で表示)(2/2)



270° 側

図−3　爪開閉ロッド接触痕写真

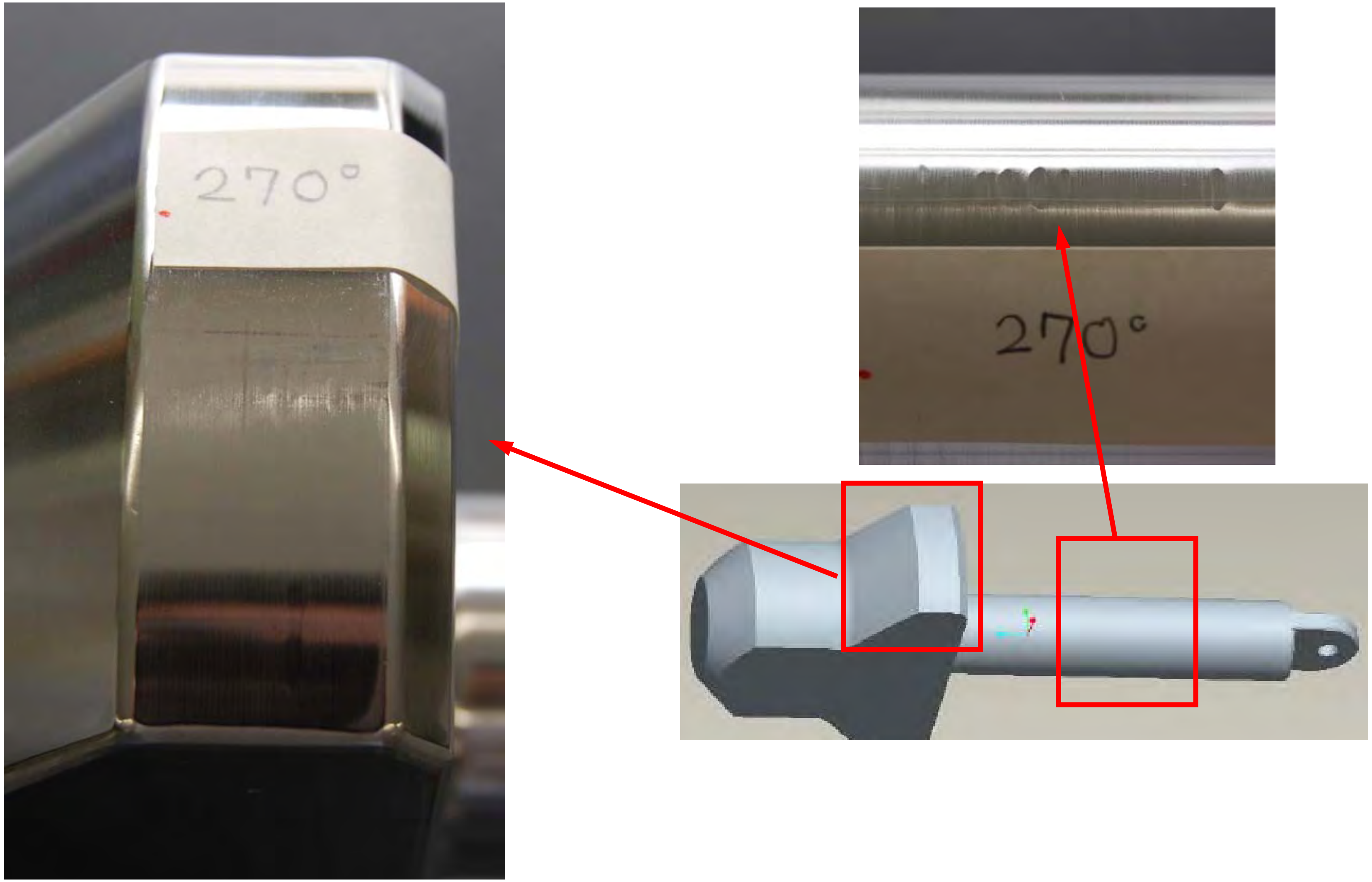
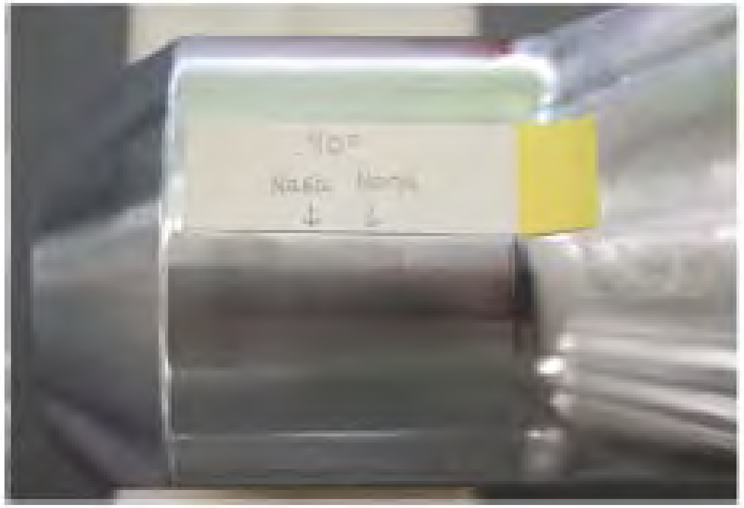
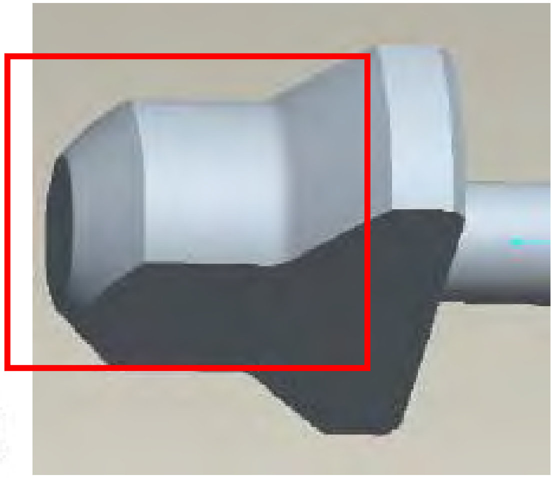


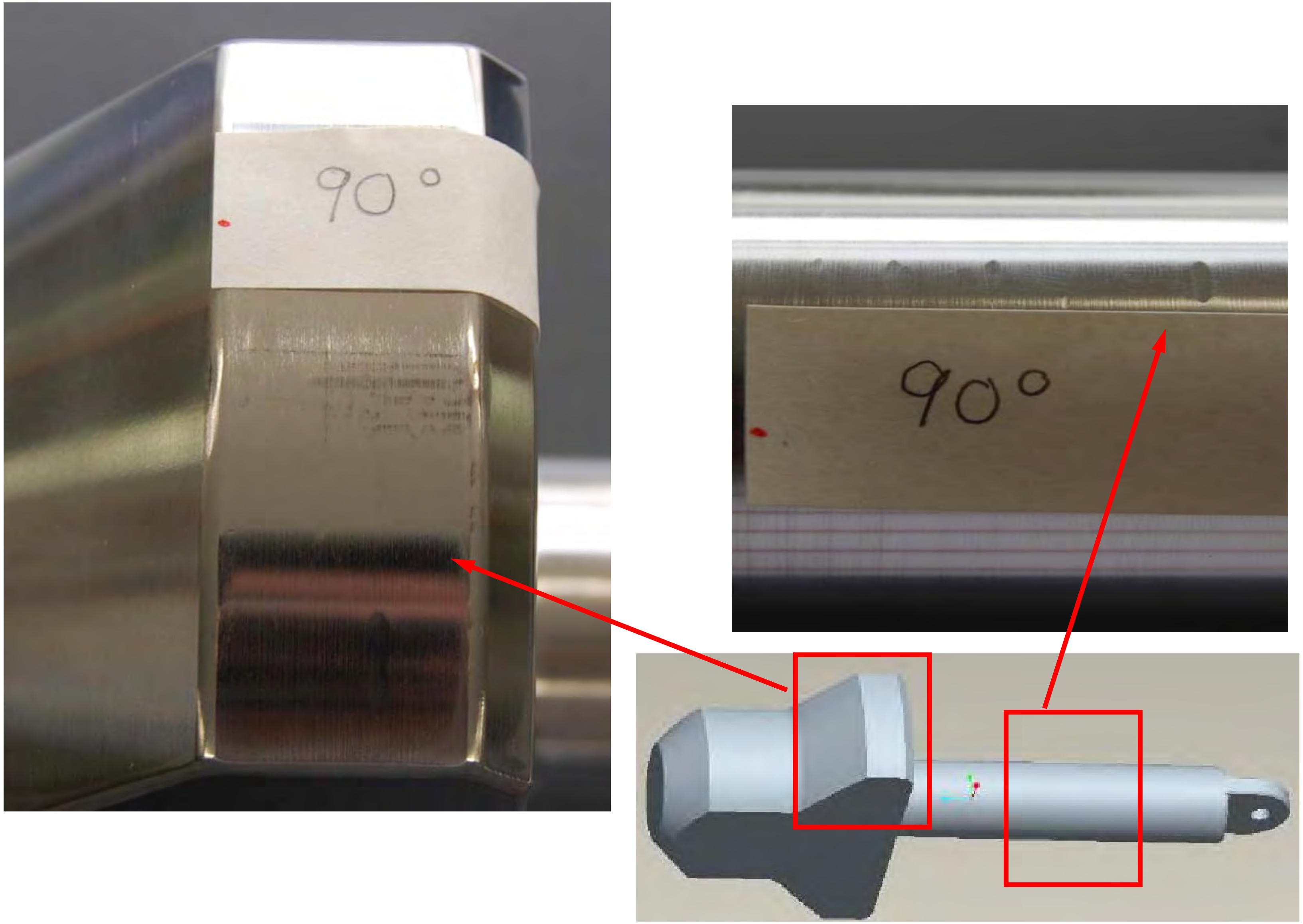

図-4　爪開閉ロッド接触痕写真



90° 側

図-5　爪開閉ロッド接触痕写真




図−6　爪開閉ロッド接触痕写真

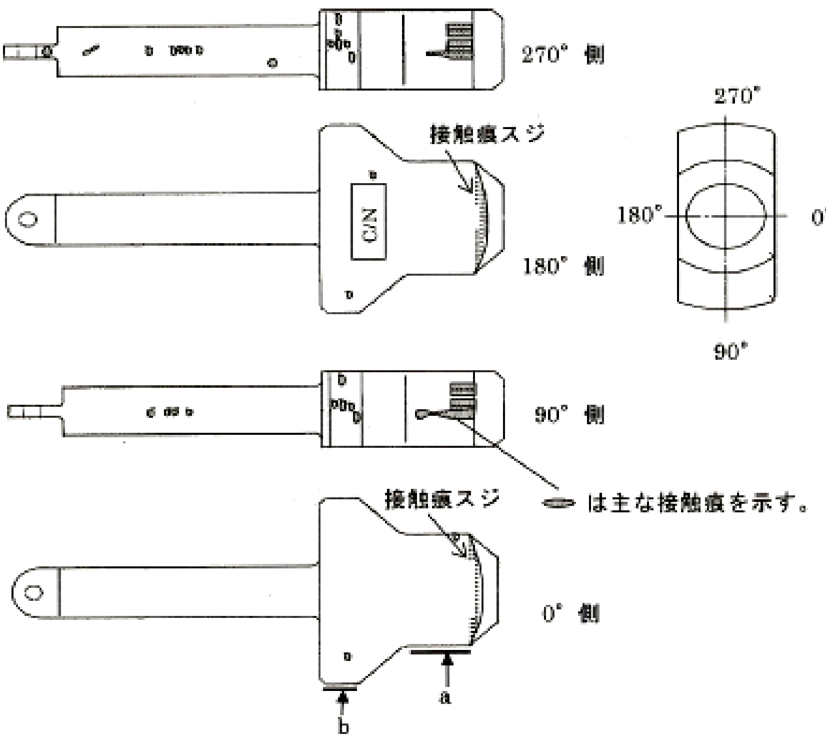
[redacted]



## 検 査 成 績 書
INSPECTION RECORD

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | AHMグリッパ | 部品名 Part | 爪開閉ロッド |
| 製造番号 Job No. | ———— | 数量 Quantity | 1 |
| 図面番号 Drawing No. | ———— | 検査日付 Inspection Date | 2010-09-06 |
| 要領書 Procedure | ———— | | |
| 検査項目 Inspection Item | 外観検査 | | |

判定 Evaluation　~~口合　格 Acceptable~~ ~~口不合格 Unacceptable~~




検査結果：90° 及び 270° 側の上記 a，b 部及び側面に接触痕が認められます。
各部における最大深さは以下のとうりです。
90° 側 270° 側共に a 部 0.03mm　b 部 0.02mm
側面の接触痕スジは 0° 側 180° 側共に 0.01mm

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 原子炉機器品質管理担当 | 立会者 Witnessed by | ———— | | |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

[redacted]

図-7　AHMグリッパ爪開閉ロッド外観調査記録(1/3)

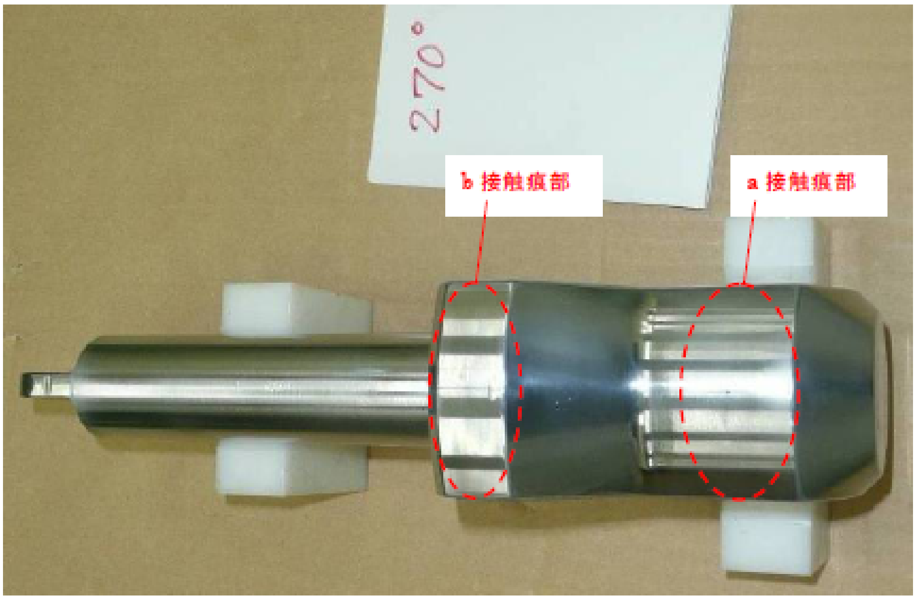
爪開閉ロッド－0° 側

爪開閉ロッド－90° 側

図−7　AHMグリッパ爪開閉ロッド外観調査記録(2/3)

[redacted]

爪開閉ロッド−180° 側




爪開閉ロッド−270° 側

図−7　AHMグリッパ爪開閉ロッド外観調査記録(3/3)

[redacted]

品質記録
QUALITY RECORD

## 検査成績書
INSPECTION RECORD

/

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | AHMグリッパ | 部品名 Part | 爪開閉ロッド |
| 製造番号 Job No. | ——— | 数量 Quantity | 1 |
| 図面番号 Drawing No. | ——— Rev. — | 検査日 Date | 2010－ 9－ 5 |
| 要領書 Procedure | ——— Rev. — | | |
| 検査項目 Inspection Item | 寸法検査 | | |

判定 Evaluation　□合 格 Acceptable　□不合格 Unacceptable

単位：mm

| 測定位置 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基準値 | φ150 | φ90 | 同軸度0.1 | 同軸度0.1 | φ40 | 63 | 10 | φ10 |
| 測定値 | 149.96 | 89.98 | 0.05 | 0.07 | 39.78 | 62.76 | 9.97 | 10.04 |

| 測定位置 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|
| 基準値 | 190 | 325 | 65 | 45° | 45° |
| 測定値 | 190.00 | 325.03 | 65.05 | 44.98° | 45.00° |

| 使用計測器 | |
|---|---|
| 名称 | 管理番号 |
| 三次元測定機 | 4003B |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 [redacted]理担当 | 立会者 Witnessed by | ——— | 測定温度 | 21℃ |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

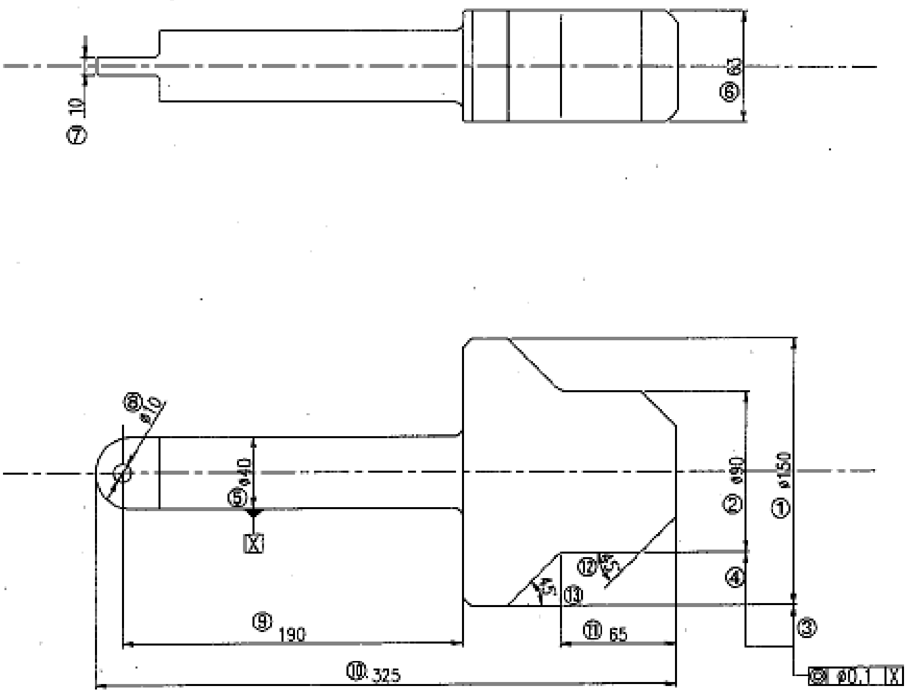
[redacted]

図−8　AHMグリッパ爪開閉ロッド寸法測定記録(1/2)

[redacted]



検査成績書
INSPECTION RECORD
/




図−8　AHMグリッパ爪開閉ロッド寸法測定記録(2/2)

添付資料−10−10：AHMグリッパの分解調査結果（グリッパ爪）

Ｍ／Ｂ内機器試験ピットでの分解調査後、AHMグリッパの主要構成部品をAHM製作メーカの工場に移送し同工場で外観調査及び寸法測定等を詳細に行った。

1．グリッパ爪

外観調査の結果を図−1 に示す。90° 側のグリッパ爪の側面にすり傷を確認した。270° 側のグリッパ爪先端のずれ痕（メクレ）を確認した。また、グリッパ爪先端引っかかり部の上面には、両端からそれぞれ約 20mm の範囲にスジ状の接触痕を確認した。なお、中央部にはこのような接触痕はなく、両端部がより低くなっていたが、ずれ痕（メクレ）の欠け落ちは認められなかった。

3 次元測定器による寸法測定の結果を図−2 に示す。グリッパ爪各部の寸法は、90° 側、270° 側ともに設計寸法どおりであった。

図−3 に示すとおり、メクレ部の欠損がないことを外観調査・寸法計測及び3Dレーザスキャンによる欠損体積の算出により確認した。その結果、2 箇所のメクレ部ともに、メクレにより分離している部位の長さ及び形状は母材とほぼ一致した。また、3Dレーザスキャンの測定データから3DCADを用いて算出したメクレ部の体積と母材側のメクレ部相当部位に仮想面を形成して算出した体積を比較しところ、2 箇所のメクレ部ともに、両者の体積に差異はなかった。

以上

[redacted]

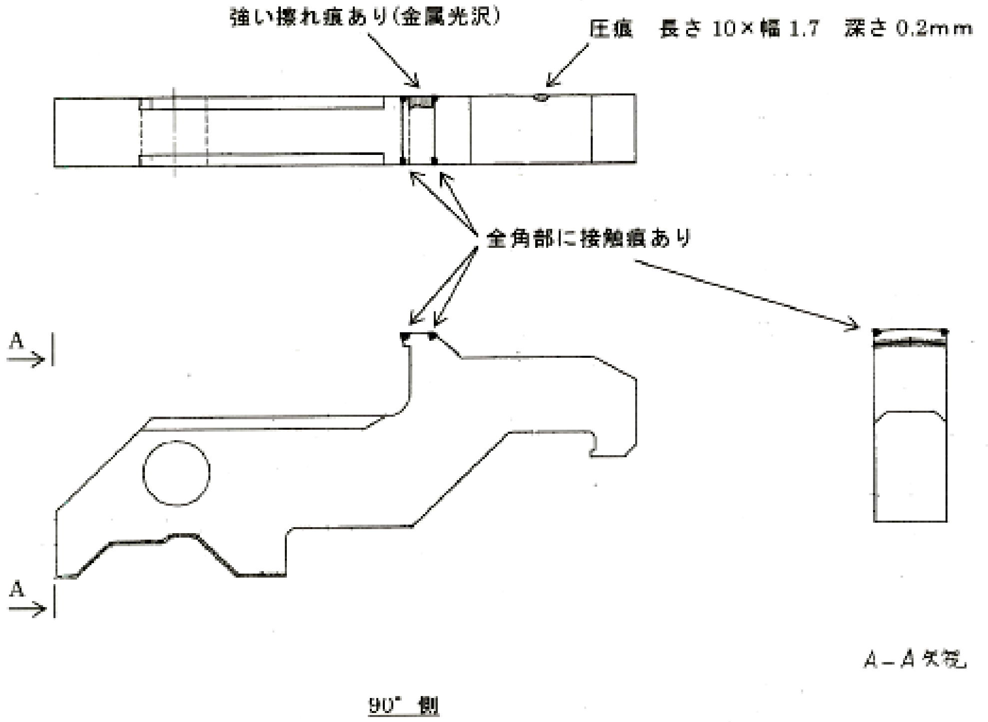


品質記録
QUALITY RECORD

# 検査成績書
## INSPECTION RECORD

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | ＡＨＭグリッパ | 部品名 Part | 爪 |
| 製造番号 Job No. | ――― | 数量 Quantity | 2 |
| 図面番号 Drawing No. | ――― | 検査日付 Inspection Date | 2010-09-06 |
| 要領書 Procedure | ――― | | |
| 検査項目 Inspection Item | 外観検査 | | |

判定 Evaluation　~~□合　格 Acceptable~~ ~~□不合格 Unacceptable~~




90° 側検査結果：　上記箇所に接触及び強い擦れ痕が認められました。

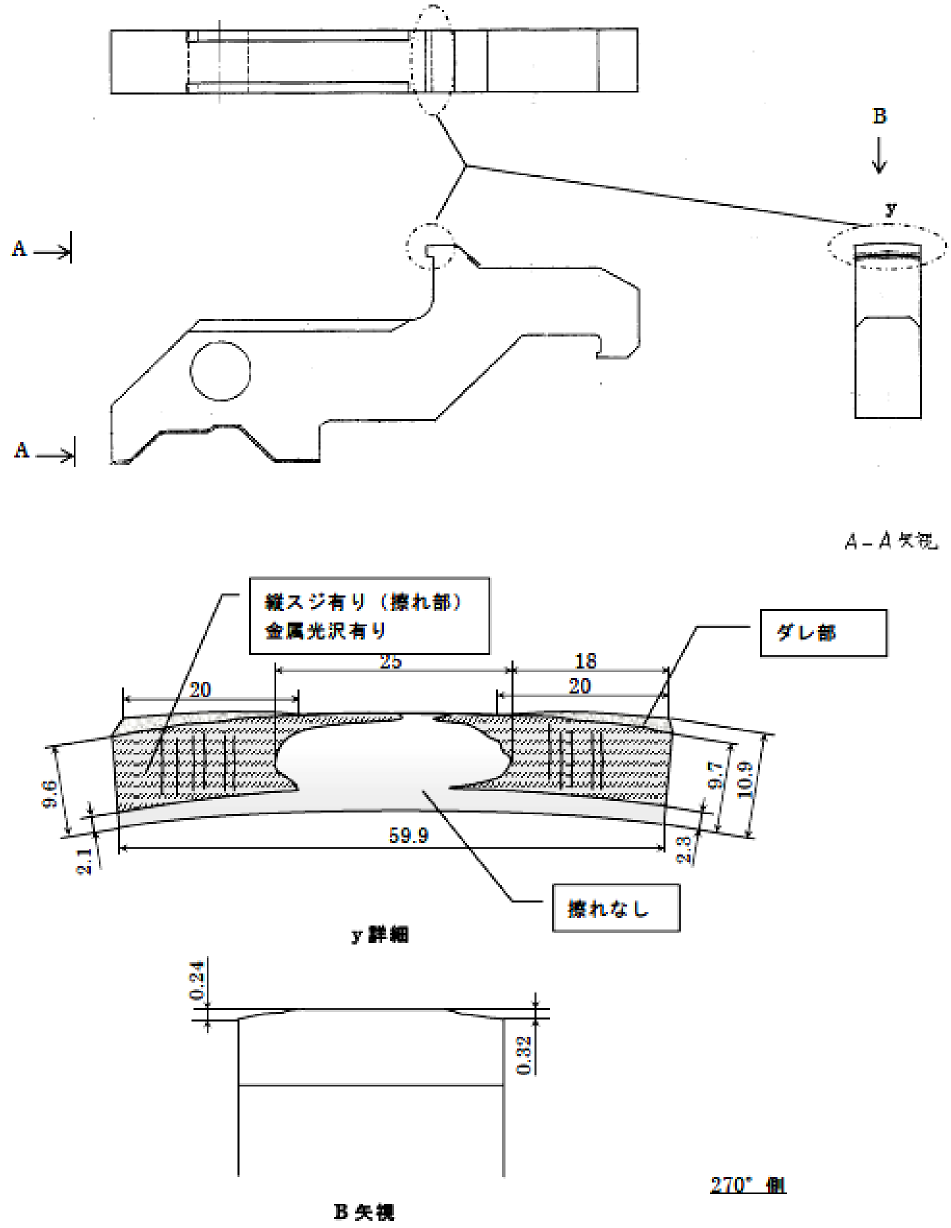
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 原子炉機器品質管理担当 | 立会者 Witnessed by | ――― | | |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

[redacted]

図−1　AHMグリッパ爪外観調査記録(1/4)

[redacted]

品質記録
QUALITY RECORD　　2/4




270° 側検査結果：　y部にある損傷部以外においては機能上有害となるような異常は認められません。

（注記）：現地調査と測定方法、器具、測定環境等が異なるため、測定値は一致していません。

図−1　AHMグリッパ爪外観調査記録(2/4)

[redacted]

90° －1

90° －2

90° －3

90° －4

図−1　AHMグリッパ爪外観調査記録(3/4)

270° −1

270° −2

270° −3

270° −4

図−1　AHMグリッパ爪外観調査記録(4/4)

[redacted]

品質記録
QUALITY RECORD

## 検査成績書
INSPECTION RECORD　/

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | ＡＨＭグリッパ | 部品名 Part | 爪 |
| 製造番号 Job No. | —— | 数量 Quantity | 2 |
| 図面番号 Drawing No. | ——　Rev. — | 検査日 Date | ２０１０－　９－　５ |
| 要領書 Procedure | ——　Rev. — | | |
| 検査項目 Inspection Item | 寸法検査 | | |

判定 Evaluation　□合 格 Acceptable　□不合格 Unacceptable

単位：mm

| 測定位置 | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基準値 | | 100 | 90 | 138 | 190 | 295.7 | 81 | 450 | 35 |
| 測定値 | 90° | 99.91 | 89.95 | 137.97 | 189.97 | 295.70 | 81.01 | 450.06 | 34.96 |
| | 270° | 99.97 | 89.95 | 137.92 | 189.97 | 295.71 | 81.00 | 450.05 | 34.97 |

| 測定位置 | | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基準値 | | 4 | 485 | 450 | 338 | 296 | 20 | 6 | 188 |
| 測定値 | 90° | 4.00 | 485.02 | 449.99 | 337.97 | 296.03 | 20.33 | 6.04 | 188.04 |
| | 270° | 3.99 | 485.02 | 449.99 | 337.97 | 296.04 | 20.42 | 6.06 | 188.02 |

| 測定位置 | | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 基準値 | | 101 | 10 | 11 | 60 | 58 | 30 | 45 | 45° |
| 測定値 | 90° | 101.11 | 9.99 | 11.16 | 59.87 | 58.02 | 30.06 | 44.98 | 44.97° |
| | 270° | 101.10 | 9.99 | 11.16 | 59.85 | 58.00 | 30.05 | 44.97 | 44.96° |

| 測定位置 | | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 基準値 | | 123 | 5 | 210 | 115 | 45° |
| 測定値 | 90° | 123.06 | 5.02 | 210.15 | 114.93 | 44.97° |
| | 270° | 123.04 | 4.94 | 210.06 | 114.98 | 44.98° |

| 使用計測器 | |
|---|---|
| 名称 | 管理番号 |
| 三次元測定機 | 4003B |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 原子炉機器品質管理担当 | 立会者 Witnessed by | —— | 測定温度　21℃ | |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

[redacted]

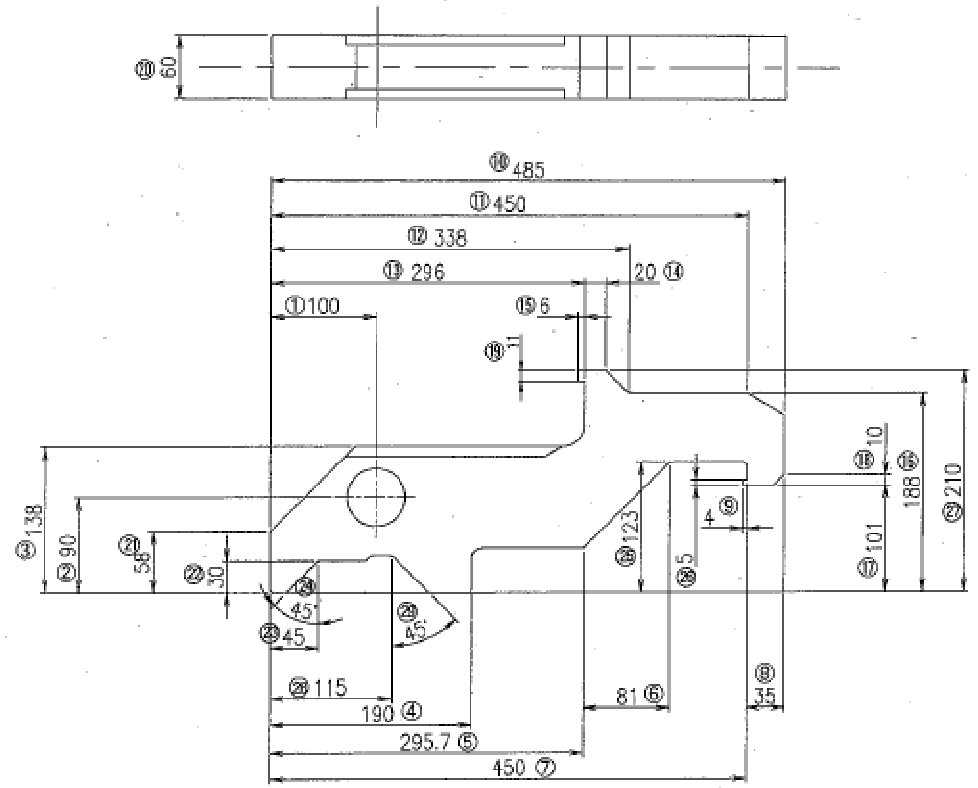
図−2　AHMグリッパ爪寸法測定記録(1/6)

[redacted]



検査成績書
INSPECTION RECORD

/




寸法測定位置図

図−2　AHMグリッパ爪寸法測定記録(2/6)

[redacted]

品質記録
QUALITY RECORD

# 検査成績書
INSPECTION RECORD

1 / 2

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構 殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | AHMグリッパ | 部品名 Part | 爪 |
| 製造番号 Job No. | ―― | 数量 Quantity | 1 |
| 図面番号 Drawing No. | ―― Rev. ― | 検査日 Date | 2010― 9― 10 |
| 要領書 Procedure | ―― Rev. ― | | |
| 検査項目 Inspection Item | 寸法検査（90° 爪） | | |

判定 Evaluation　□~~合格 Acceptable~~　□~~不合格 Unacceptable~~

90° 爪　　　　単位：mm

| | | ベアリング中心からの距離（横方向） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基準寸法：90 | | | | |
| | | -95 位置 | -90 位置 | 60 位置 | 70 位置 | 80 位置 |
| 爪上面からの距離 | 5 | 89.952 | 89.952 | 89.946 | 89.954 | 89.948 |
| | 10 | 89.925 | 89.950 | 89.944 | 89.952 | 89.945 |
| | 15 | 89.953 | 89.948 | 89.943 | 89.949 | 89.943 |
| | 20 | 89.952 | 89.947 | 89.942 | 89.948 | 89.939 |
| | 25 | 89.951 | 89.945 | 89.942 | 89.947 | 89.938 |
| | 30 | 89.950 | 89.944 | 89.939 | 89.945 | 89.936 |
| | 35 | 89.950 | 89.944 | 89.942 | 89.946 | 89.936 |
| | 40 | 89.950 | 89.945 | 89.944 | 89.945 | 89.935 |
| | 45 | 89.954 | 89.946 | 89.945 | 89.945 | 89.935 |
| | 50 | 89.950 | 89.948 | 89.947 | 89.946 | 89.935 |
| | 55 | 89.949 | 89.949 | 89.949 | 89.947 | 89.936 |

| 使用計測器 | |
|---|---|
| 名称 | 管理番号 |
| 三次元測定機 | 40038 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 原子炉機器品質管理担当 | 立会者 Witnessed by | ―― | 測定温度 | 21℃ |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

[redacted]

図−2 AHMグリッパ爪寸法測定記録(3/6)

[redacted]



検 査 成 績 書
INSPECTION RECORD

2 / 2

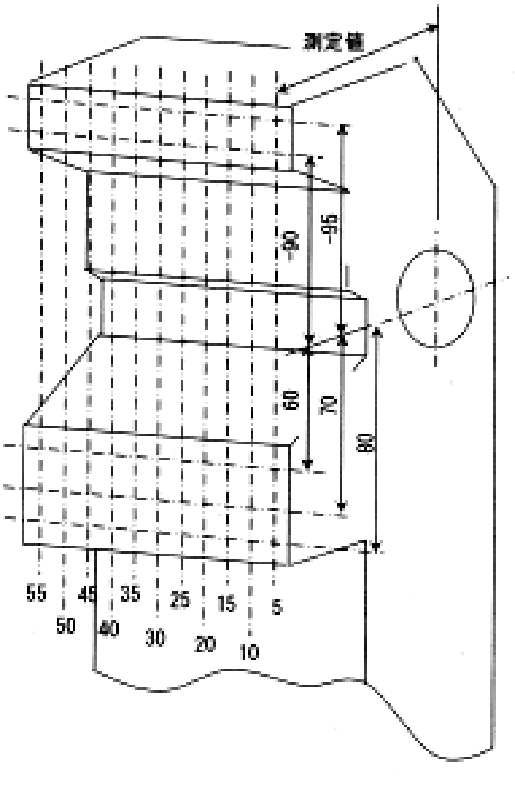



図-2 AHMグリッパ爪寸法測定記録(4/6)

[redacted]

品質記録
QUALITY RECORD

# 検査成績書
INSPECTION RECORD

1 / 2

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | ＡＨＭグリッパ | 部品名 Part | 爪 |
| 製造番号 Job No. | ―― | 数量 Quantity | 1 |
| 図面番号 Drawing No. | ――　Rev. ― | 検査日 Date | ２０１０―　９―　１０ |
| 要領書 Procedure | ――　Rev. ― | | |
| 検査項目 Inspection Item | 寸法検査（２７０°　爪） | | |

判定 Evaluation　~~□合格 Acceptable~~　~~□不合格 Unacceptable~~

270° 爪　　　　単位：mm

| | | ベアリング中心からの距離（横方向） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 基準寸法：90 | | | | |
| | | -95 位置 | -90 位置 | 60 位置 | 70 位置 | 80 位置 |
| 爪上面からの距離 | 5 | 89.962 | 89.960 | 89.950 | 89.952 | 89.957 |
| | 10 | 89.964 | 89.958 | 89.952 | 89.954 | 89.959 |
| | 15 | 89.965 | 89.959 | 89.965 | 89.957 | 89.962 |
| | 20 | 89.966 | 89.960 | 89.957 | 89.960 | 89.965 |
| | 25 | 89.968 | 89.962 | 89.961 | 89.963 | 89.968 |
| | 30 | 89.972 | 89.965 | 89.956 | 89.967 | 89.972 |
| | 35 | 89.976 | 89.969 | 89.968 | 89.971 | 89.976 |
| | 40 | 89.980 | 89.973 | 89.972 | 89.975 | 89.980 |
| | 45 | 89.985 | 89.979 | 89.977 | 89.980 | 89.985 |
| | 50 | 89.991 | 89.985 | 89.981 | 89.985 | 89.990 |
| | 55 | 89.995 | 89.992 | 89.986 | 89.991 | 89.995 |

| 使用計測器 | |
|---|---|
| 名称 | 管理番号 |
| 三次元測定機 | 4003B |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 [redacted]管理担当 | 立会者 Witnessed by | ―― | 測定温度　21℃ | |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

[redacted]

図−2　AHMグリッパ爪寸法測定記録(5/6)

検査成績書
INSPECTION RECORD

2 / 2

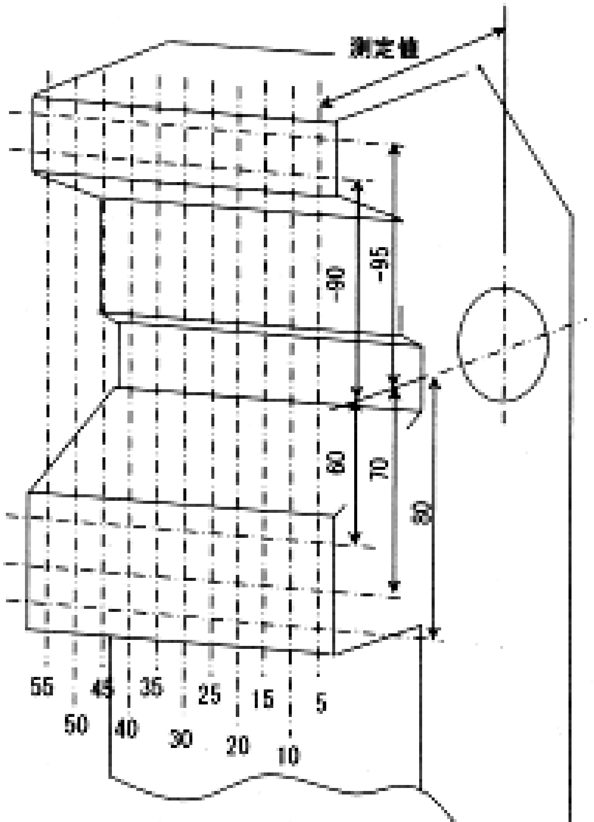



図-2 AHMグリッパ爪寸法測定記録(6/6)

[redacted]

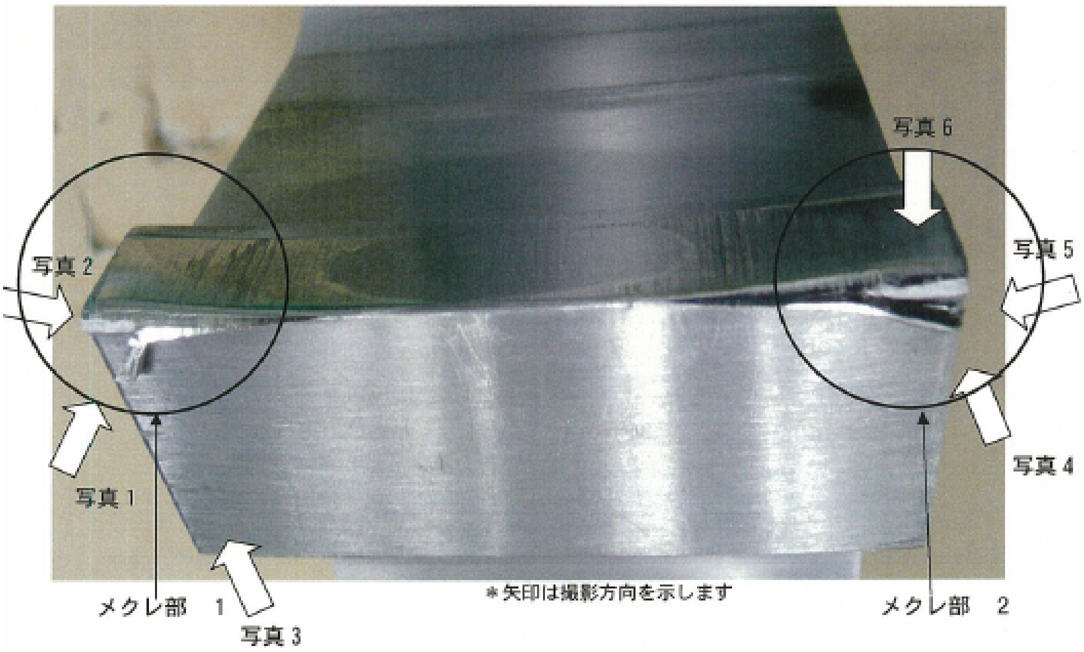
品質記録
QUALITY RECORD

# 検査成績書
INSPECTION RECORD

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | ＡＨＭグリッパ | 部品名 Part | 爪（２７０°） |
| 製造番号 Job No. | ――― | 数量 Quantity | 1 |
| 図面番号 Drawing No. | ―――　Rev. － | 検査日 Date | ２０１０－　９－　１０ |
| 要領書 Procedure | ―――　Rev. － | | |
| 検査項目 Inspection Item | 外観・寸法検査 | | |

判定 Evaluation　□~~合格 Acceptable~~　□~~不合格 Unacceptable~~

~~単位：mm~~




＊矢印は撮影方向を示します

【所見】

分離している部位の長さ及び形状は母材とほぼ一致しており、またメクレ部以外に有意な破断面は観察されないことから、ルースパーツ等の可能性は低いと判断する。

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 原子炉機器品質管理担当 | 立会者 Witnessed by | ――― | 測定温度　21℃ | |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

[redacted]

図-3　爪メクレ部詳細評価（1/4）

[redacted]



## 検 査 成 績 書
INSPECTION RECORD

/

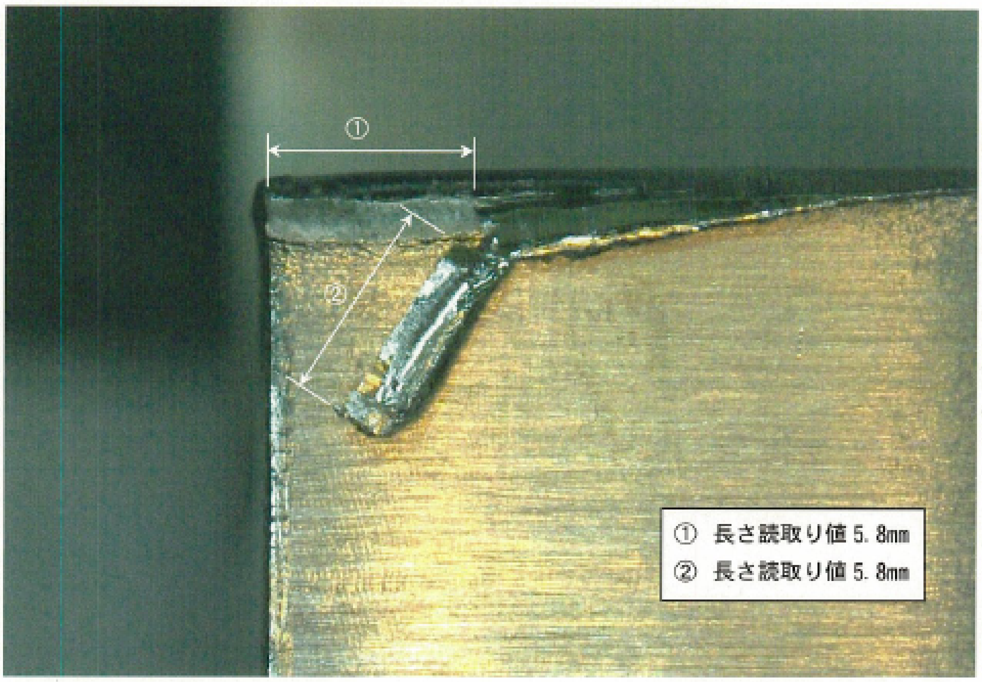



写真　1

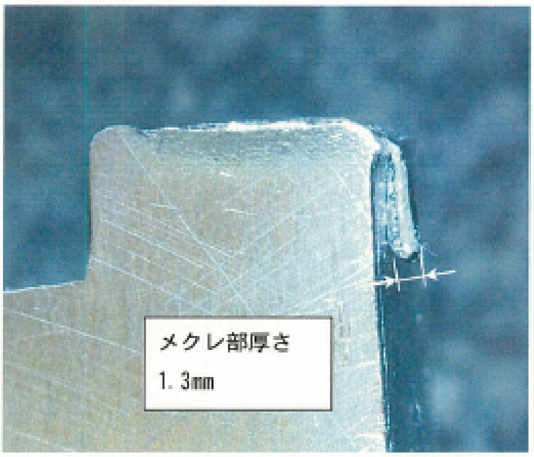



写真　2

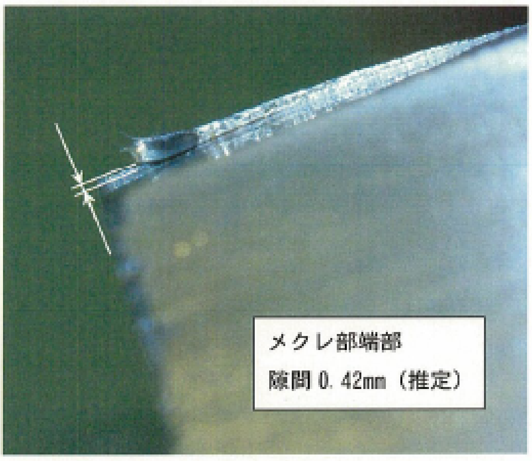



写真　3

図-3　爪メクレ部詳細評価（2/4）

[redacted]



# 検 査 成 績 書
INSPECTION RECORD

/

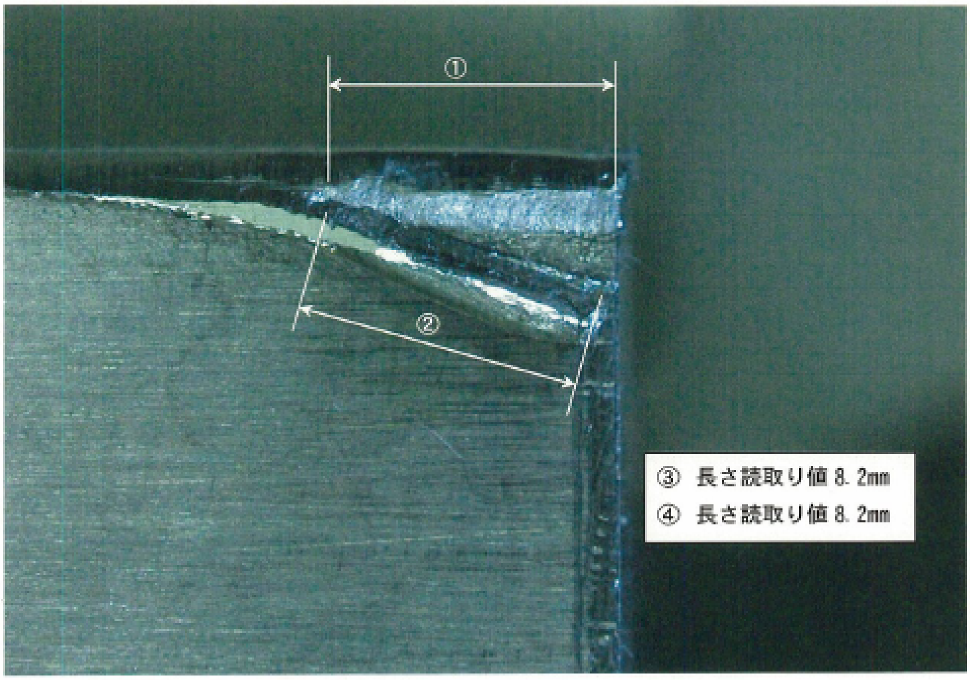



写真 4

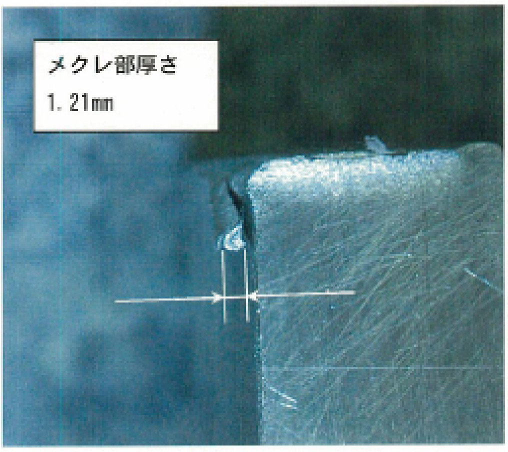



写真 5

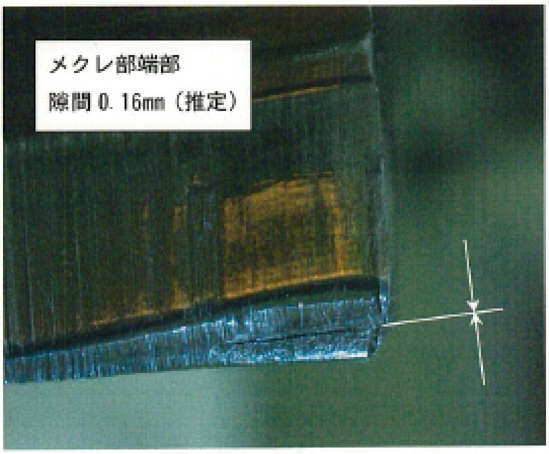



写真 6

図-3 爪メクレ部詳細評価（3/4）

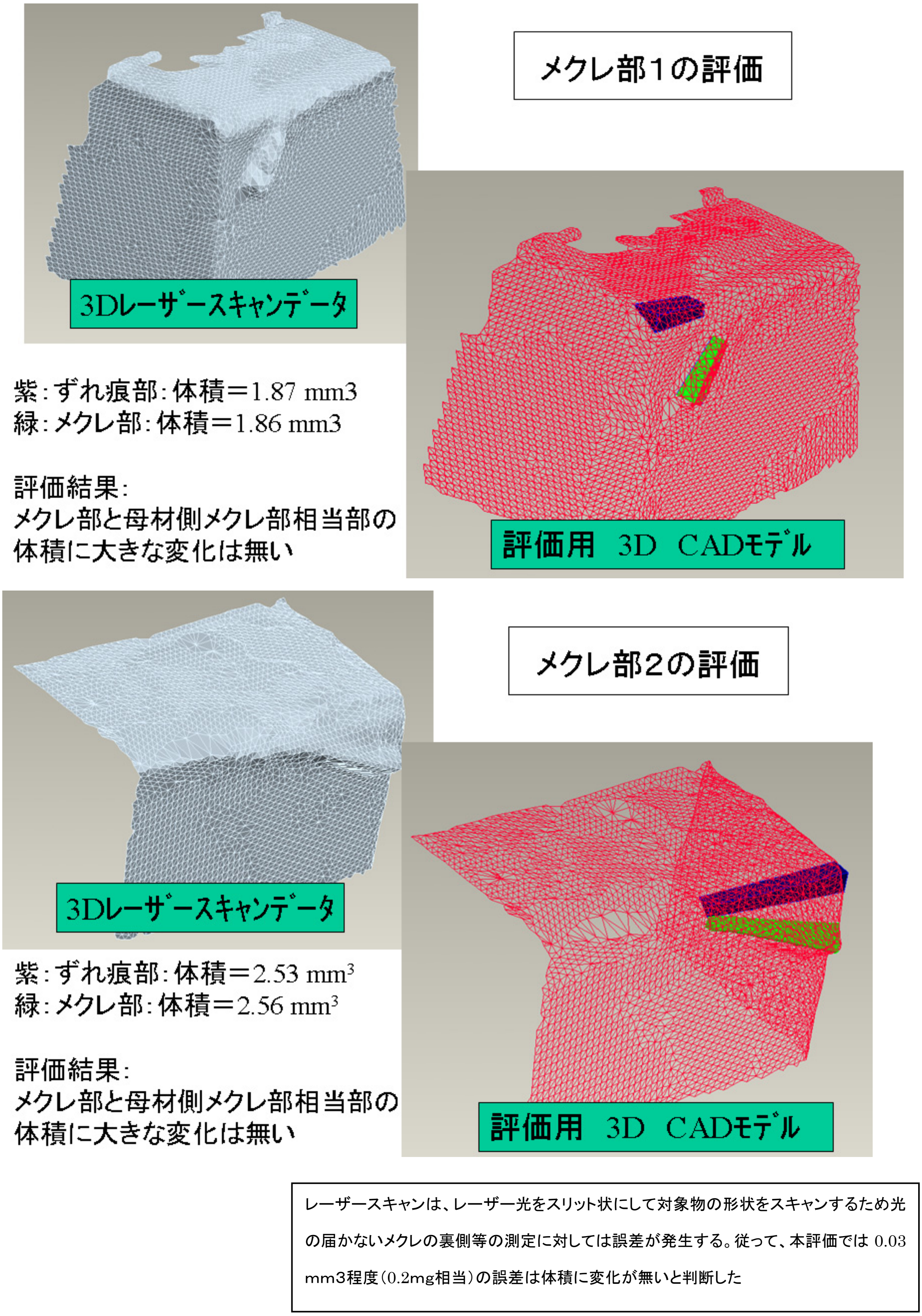



図-3　爪メクレ部詳細評価　(4/4)

添付資料−10−11：AHMグリッパの分解調査結果（爪開閉ロッドガイドブッシュ）

M／B内機器試験ピットでの分解調査後、AHMグリッパ主要構成部品をAHM製作メーカの工場に移送し同工場で外観調査及び寸法測定等を詳細に行った。

1. 爪開閉ロッドガイドブッシュ

外観調査の結果を図−1 に示す。爪開閉ロッドの上下動機能を阻害するような異常は認められなかった。

以上

[redacted]

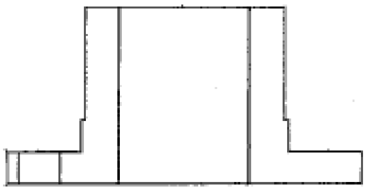
品質記録
QUALITY RECORD



# 検査成績書
INSPECTION RECORD

| | | | |
|---|---|---|---|
| 注文主 Customer | 日本原子力研究開発機構　殿 | 施設名 Plant | 高速増殖炉もんじゅ |
| 機器名 Item | ＡＨＭグリッパ | 部品名 Part | ガイドブッシュ |
| 製造番号 Job No. | ———— | 数量 Quantity | 1 |
| 図面番号 Drawing No. | ———— | 検査日付 Inspection Date | 2010-09-06 |
| 要領書 Procedure | ———— | | |
| 検査項目 Inspection Item | 外観検査 | | |

判定 Evaluation　~~□合　格 Acceptable~~　~~□不合格 Unacceptable~~



検査結果：付着物による汚れはありますが、機能上有害となるような
異常は認められません。

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 発行課 Issued by | 品質保証部 原子炉機器品質管理担当 | 立会者 Witnessed by | ——— | | |
| 承認 Approved by | [redacted] | 調査 Reviewed by | [redacted] | 検査 Examined by | [redacted] |

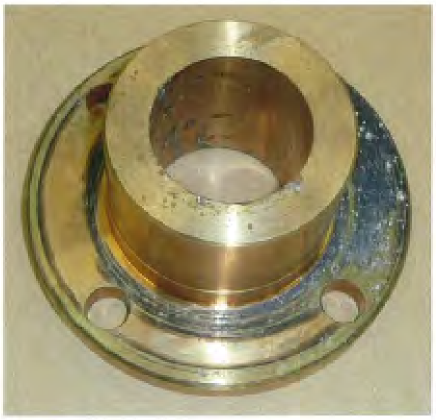
[redacted]

図−1　AHMグリッパ爪開閉ロッドガイドブッシュ外観調査記録(1/2)

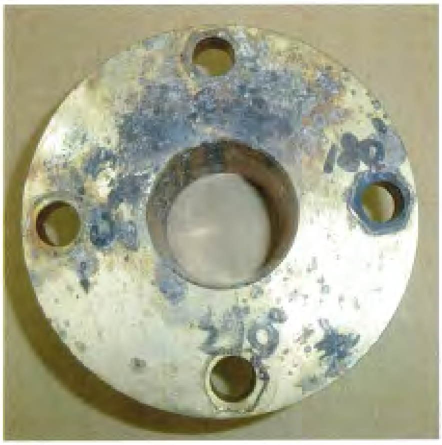
[redacted]

品質記録
QUALITY RECORD
2/2

ガイドブッシュ-1



ガイドブッシュ-2



ガイドブッシュ-3

図-1　AHMグリッパ爪開閉ロッドガイドブッシュ外観調査記録(2/2)

## 添付資料-10-12：AHMグリッパの分解調査結果（パワーシリンダ）

Ｍ／Ｂ内機器試験ピットでの分解調査後、ＡＨＭグリッパ主要構成部品をＡＨＭ製作メーカの工場に移送し同工場で外観調査及び寸法測定等を詳細に行った。

### 1. パワーシリンダ

外観調査の結果を図-1 に示す。パワーシリンダの上下動及びリミットスイッチ取付状態に異常はなく、軸駆動部の分解調査の結果、パワーシリンダロッドの回転等の異常は認められなかった。

リミットスイッチの動作確認については、図-2 に示すとおり、すべてのリミットスイッチは異常なく動作した。

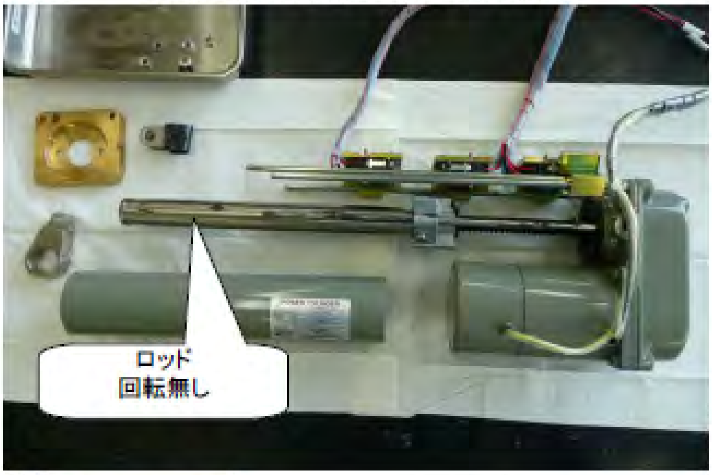
表-1 にパワーシリンダ単体のリミットスイッチ設定位置から算出した爪開閉ロッドストロークを、表-2 に爪開閉ロッドストロークから算出したグリッパ爪開閉幅を示す。平成 15 年のパワーシリンダ交換時の測定値と比較しても有意な変化は見られず、リミットスイッチの取付位置に異常は認められなかった。

以上

AHM グリッパ パワーシリンダ分解点検

2010.9.5

分解状態：異常なし、ロッドの回転無し

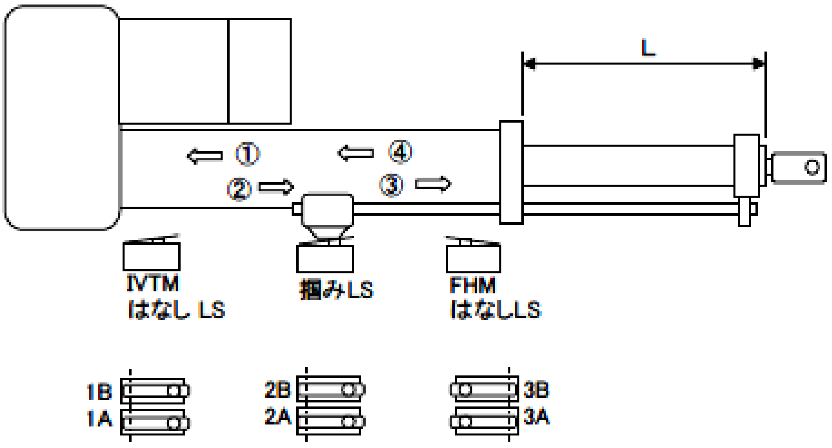


外筒の内部：グリス付着有り

図−1 パワーシリンダ外観調査、軸駆動部分解調査写真

AHM グリッパ パワーシリンダ点検

2010.9.5




ﾘﾐｯﾄｽｲｯﾁの配置図

単位：mm

| | | LS No. | L | 備考 |
|---|---|---|---|---|
| 動作方向 | 初期値 | | 116.0 | |
| ① | IVTM はなし | 1B | 34.3 | 1Bｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| | | 1A | 35.0 | 1Aｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| ② | IVTM つかみ | 2B | 115.6 | 2Bｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| | | 2A | 114.0 | 2Aｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| ③ | FHM はなし | 3B | 164.5 | 3Bｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| | | 3A | 163.7 | 3Aｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| ④ | FHM つかみ | 2B | 137.3 | 2Bｽｲｯﾁのみ動作した位置 |
| | | 2A | 138.5 | 2Aｽｲｯﾁのみ動作した位置 |

＊現地回路ではなし検知は、AND回路（2Aと2Bが同時ON）であるため、2Aと2Bが同時ONした位置も測定

単位：mm

| 動作方向 | | LS No. | L | |
|---|---|---|---|---|
| ② | IVTM つかみ | 2A and 2B | 115.8 | 2A・2Bｽｲｯﾁ両方動作した位置 |
| ④ | FHM つかみ | 2A and 2B | 137.3 | 2A・2Bｽｲｯﾁ両方動作した位置 |

図-2 AHMパワーシリンダリミットスイッチ動作確認結果

表-1　パワーシリンダ単体のリミットスイッチ設定位置から算出した
爪開閉ロッドストローク

| | パワーシリンダ<br>ストローク(mm) | 爪開閉ロッド<br>ストローク(mm) |
|---|---|---|
| 初期状態<br>（IVTM つかみ位置） | 116.0 | 316.3 |
| IVTM はなし位置 | 35.0 | 397.3 |
| FHM はなし位置 | 163.7 | 268.6 |
| FHM つかみ位置 | 137.3 | 295.0 |

表-2　爪開閉ロッドストロークから検証した爪開閉幅

| | 爪開閉ロッド<br>ストローク<br>（mm） | グリッパ爪<br>開閉幅<br>（mm） | 調整時の<br>基準値(mm) | H15 年交換時<br>測定値(mm) |
|---|---|---|---|---|
| 初期状態<br>（IVTM つかみ位<br>置） | 316.3 | 510.0 | 510±2 | 510 |
| IVTM はなし位置 | 397.3 | 386.7 | 384±4 | 387 |
| FHM はなし位置 | 268.6 | 399.5 | 403±4 | 402 |
| FHM つかみ位置 | 295.0 | 292.0 | 299±2 | 291 |

添付資料-10-13：爪開閉ロッドの加振試験について

AHMの爪開閉ロッドが回転したメカニズムを検討し、IVTM本体が落下するに至った原因究明を行うため、AHMの運用に伴い発生するグリッパ爪に作用する振動条件及びパワーシリンダのU字金具のねじの締付け条件等をパラメータとした加振試験を実施した。

1. 実機AHMに対する振動測定及び模擬加振波の作成

実機AHM運用時の振動測定を行い、測定結果から加振試験に使用する模擬加振波を作成した。

(1) AHMの振動測定は、爪開閉ロッドが回転する可能性が一番高い、取扱対象機器を吊っていない無負荷状態にて実施した。実機AHMにおける振動測定及び結果を図-1 及び図-2 に示す。
取扱対象機器を吊った状態の場合、グリッパ爪が強く爪開閉ロッドを挟み動きが拘束されるため、爪開閉ロッドは回転しない。

(2) 実機AHMの振動測定の結果、AHMを転倒状態から起立し、垂直に起立する直前から起立直後において、最も大きい加速度を測定したことから、AHM起立時の測定データのうち最も変位の大きい部分を抽出し模擬加振波を作成した。模擬加振波及び加振試験装置外観を図-3 に示す。

2. 加振試験

実機AHMの振動測定結果をもとに作成した模擬加振波により、試験体を用いた加振試験を実施した。加振試験の条件を表-1 に、燃料交換におけるAHM標準使用の概要を表-2 に、加振試験結果を表-3 に示す。

(1) 試験の基本ケースとして 10 回（60 秒/回）の加振を行ったところ、15 ケースの試験のうち 1 ケースを除いて、爪開閉ロッドは回転して正規の位置から外れた。爪開閉ロッドの回転方向は、ワッシャの条件（経年劣化）及び締付量によらず、ねじの締まり方向又は緩み方向のいずれにも回り、その回転角は-10° から 10° と試験ケースによってばらつく結果となった。

(2) 爪開閉ロッドが振動により 90° 回転することを確認するため、1 ケースについて 30 回を目処に加振を行った。試験条件として経年劣化を模擬したワッシャにより、締付量 0mm（U字金具がワッシャに触れた程度）、振幅 150%で加振した結果、爪開閉ロッドが約 20° まで回転したことから、更に加振を継続したところ、33 回目の加振で爪開閉ロッドがグリッパ爪から外れ、90° まで回転した。

## ３． 考察

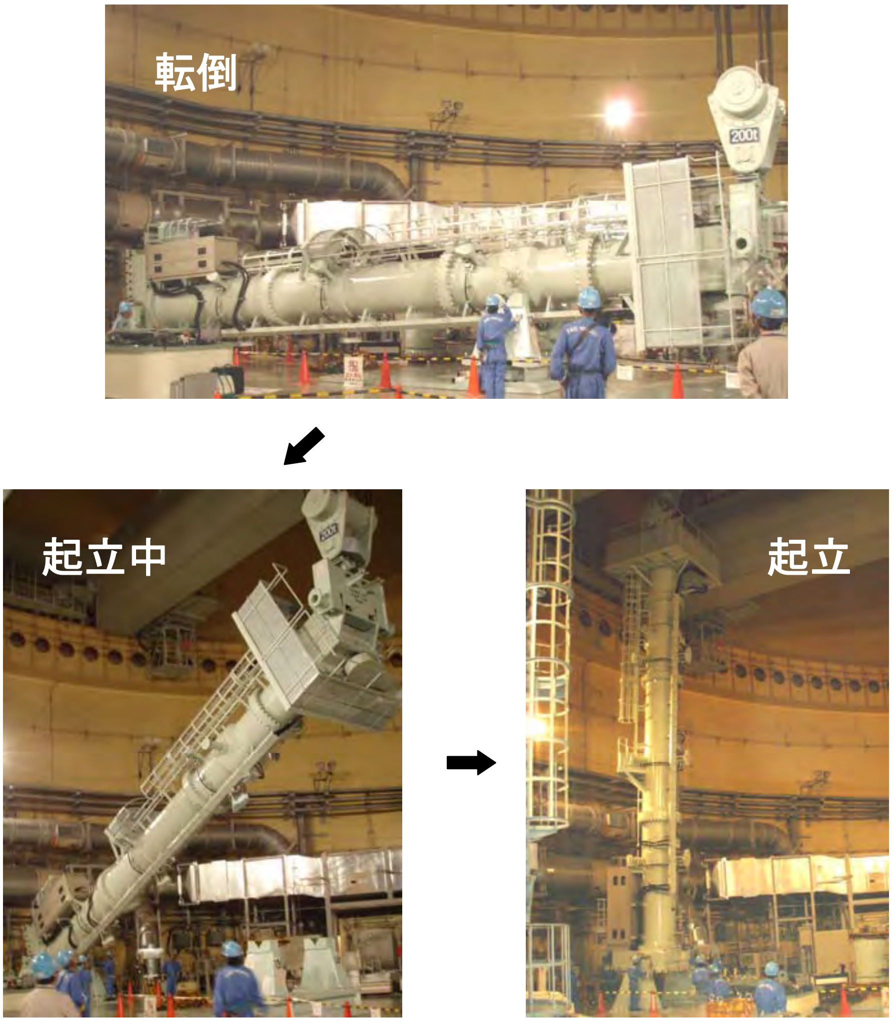
加振試験の結果から、IVTM本体落下事象時のU字金具締付状態と同程度の締付条件（0.36mm）では、振動により爪開閉ロッドが正規の位置から外れ回転することが確認できた。以下に推定する爪開閉ロッド回転のメカニズムを示す（図−4参照）。

(1) AHMが転倒状態から起立する際に発生した振動により、AHMグリッパが揺れる。

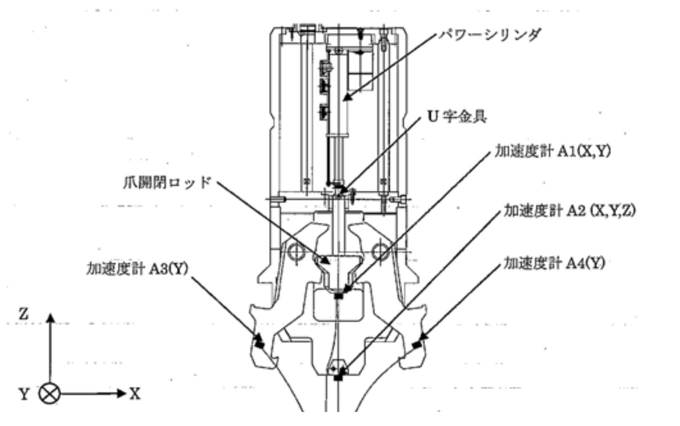
(2) AHMグリッパの揺れにより、爪開閉ロッドを挟み込んでいた 2 つのグリッパ爪がそれぞれ不規則に揺れる。

(3) 不規則に揺れたグリッパ爪が各々爪開閉ロッドに水平 X 方向に当たる際に、グリッパ爪とグリッパ爪支持板の隙間及びグリッパ爪の接続ピンのあそび代(僅かな隙間)により、水平 Y 方向にも揺れ、爪開閉ロッドに回転方向のトルクが発生する。

(4) 爪開閉ロッドに働いた回転トルクにより、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部の U 字金具のねじが緩み、爪開閉ロッドが回転した。




AHM起立・転倒操作




（参考）加速度計取付け位置

図−1　実機AHMにおける起立・転倒操作時の振動測定

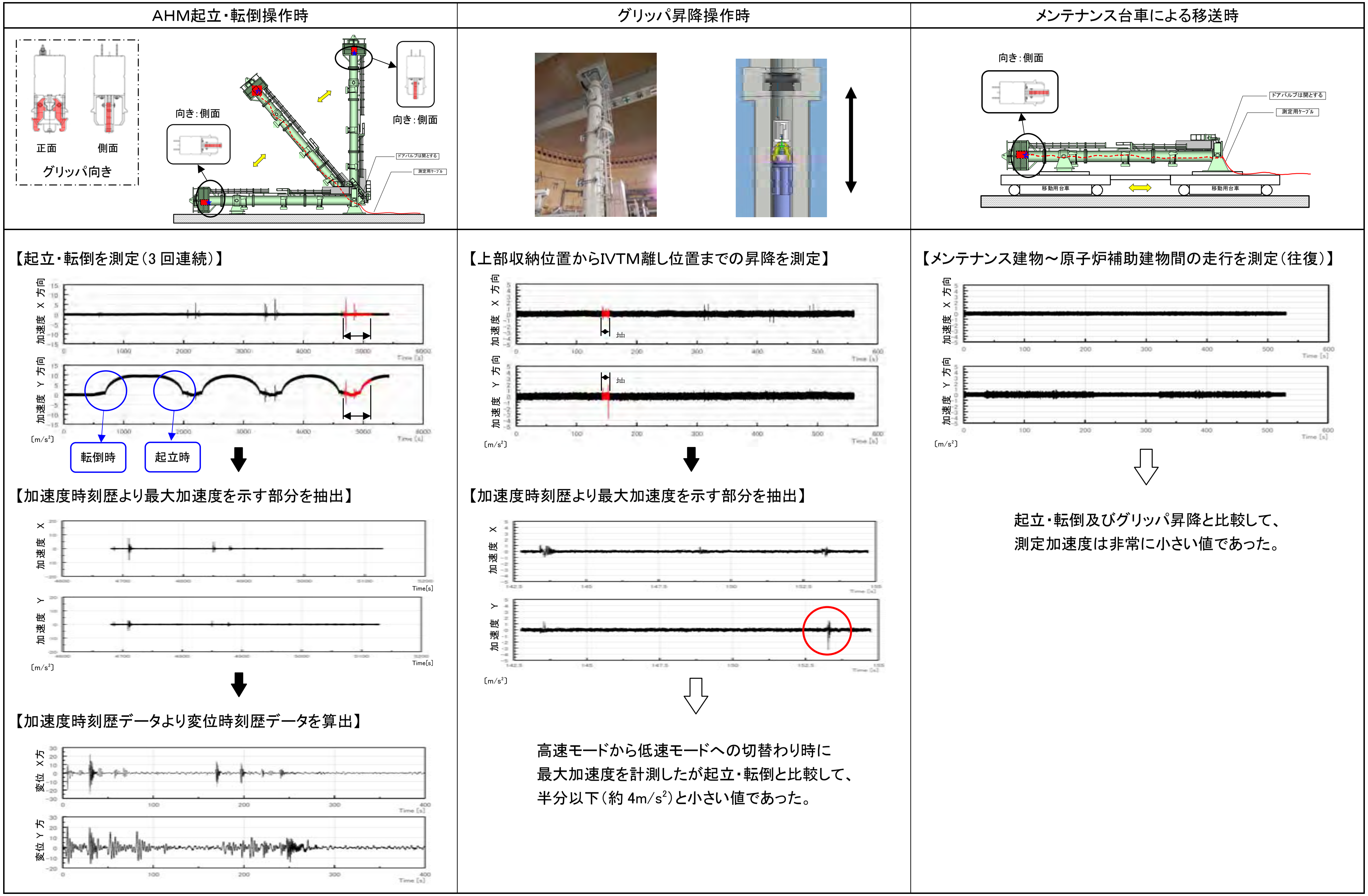
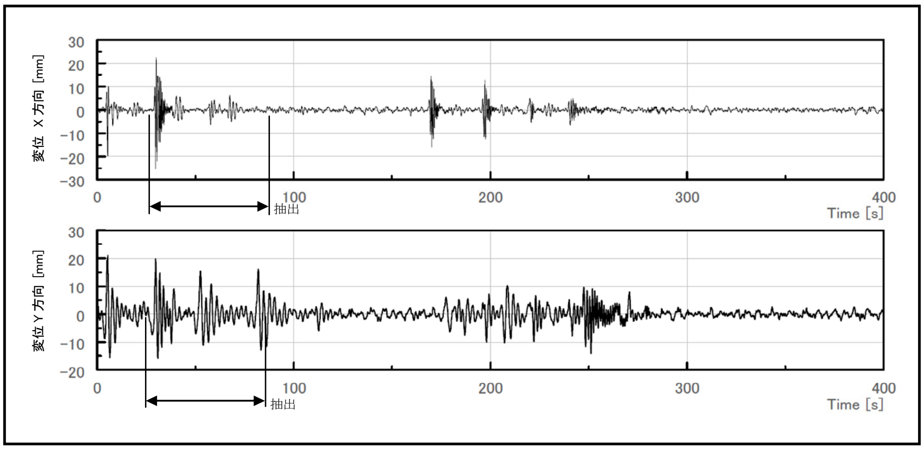
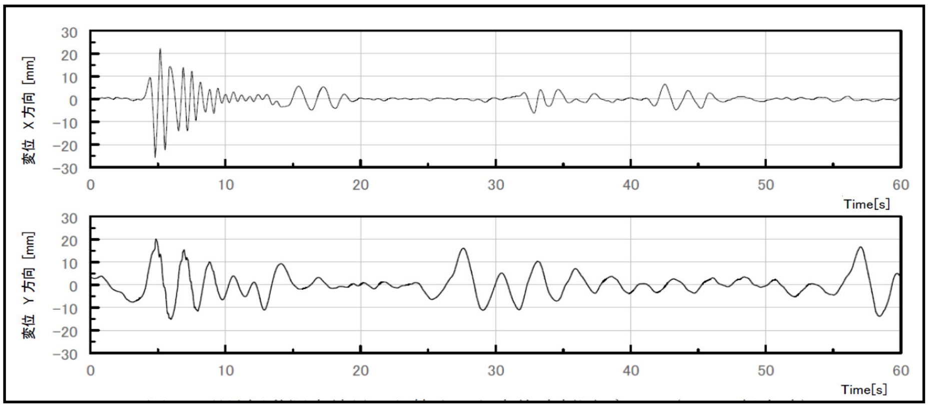



図-2　実機AHMにおける振動測定結果

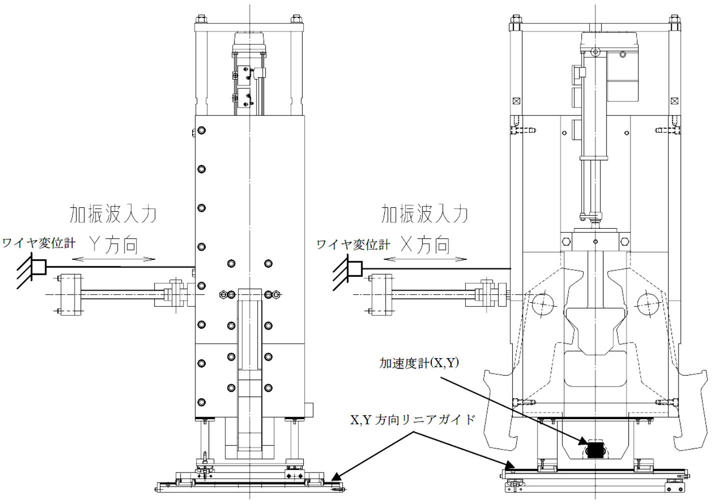
① AHM転倒→起立時に測定した加速度時刻歴データより算出した変位時刻歴データ

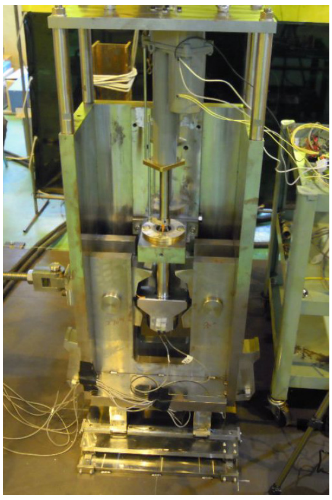



② 変位波形のうち値が大きい 25 秒～85 秒の部分を抽出して 60 秒の加振波を作成




【模擬加振波の設定】



【実機スケール】

図-3　模擬加振波及び加振試験装置外観

表-1 加振試験条件

| 項　目 | 内　容 |
| --- | --- |
| 実機AHMに対する現地振動測定 | 実機AHMのグリッパに加速度計を取付け、グリッパ「開」の状態、グリッパ爪はIVTM落下直前の「FHMはなし状態」により、次のケースで振動を測定した。<br>(1) 「AHMの転倒状態から起立状態まで」及び「起立状態から転倒状態まで」の工程全般に渡る測定<br>(2) AHMグリッパの上昇過程及び下降過程全般の測定<br>(3) メンテナンス建物と原子炉建物の間の移送工程全般に渡る測定 |
| 加振試験<br>（工場による模擬体での試験） | (1) 試験方法<br>① 試験条件は、原則AHM運用に近い状態を模擬する。<br>② U字金具のねじの締付け状態は、締付量 0 mmから締付量を変化させて、ワッシャ締付量の影響を確認する。<br>③ ワッシャは、新品と劣化品を用いて、劣化による影響を確認する。また、実機に用いられたワッシャとの比較を確認する。<br>④ 加振振幅は、クレーン運転操作によってAHMの起立・転倒での振動状況が変化することを考慮し、現地測定振幅と現地測定振幅の 1.5 倍の加振力を設定する。<br>⑤ 加振回数は、1 回の燃料交換の準備及び後片付けにおける標準のAHM起立・転倒回数が約 10 回であるため、原則 1 ケース 10 回の加振により、爪開閉ロッドの回転を確認する。<br>(2) 試験条件<br>① 試験装置<br>・油圧加振機（X,Y 方向 2 軸への同時に加振が可能）<br>・ワイヤ変位計<br>・加速度計　等<br>・加振試験用グリッパ（AHMと同一仕様の爪、爪開閉ロッド、ブッシュ、パワーシリンダ及び IVTM 落下時に使用していたパワーシリンダ）<br>② 模擬加振波 ： AHM起立操作時<br>③ 加振力 ： 現地測定振幅の 1.0 倍(100%)及び 1.5 倍(150%)<br>④ U字金具の締付け状態 ： 0mm（角度　0°）<br>0.16mm（角度 45°）<br>0.31mm（角度 90°）<br>※締付け量は、パワーシリンダの設置角度を変えて設定する。<br>各締付け状態により、爪開閉ロッドへの回転トルクを測定した結果、約 0.03 から 0.18N・m であった。<br>⑤ ワッシャ（ニトリルゴム） ： 新品<br>経年劣化模擬品<br>IVTM落下時に使用していたワッシャ |

表-2　燃料交換時におけるAHM標準使用の概要

**1. 燃料交換準備**

| 順番 | AHM使用内容 | AHM　起立⇔転倒 |
| --- | --- | --- |
| 0 | 通常AHMはM／Bで「起立」の状態で保管 | ー |
| 1 | AHMのアルゴンガス置換が必要な場合は、「起立」→「転倒」にして置換後、「転倒」→「起立」 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>**「転倒」→「起立」**:1 回 |
| 2 | M／BにてAHMにIVTM本体収容 | グリッパ昇降:1 回 |
| 3 | M／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にて原子炉建物（以下「R／B」という）へ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 4 | R／BにてAHMを「転倒」→「起立」とし、IVTM本体を炉内に挿入 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1回 |
| 5 | R／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にてM／Bへ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 6 | M／BにてAHMを「転倒」→「起立」にし、AHMにFHM本体を収容 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1 回 |
| 7 | M／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にてR／Bへ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 8 | R／BにてAHMを「転倒」→「起立」とし、FHM本体を炉内に挿入 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1 回 |
| 9 | R／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にてM／Bへ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 10 | M／Bにて「転倒」のまま保管（燃料交換終了後にR／Bへ再度移送するため） | ー |
| 移送:4 回<br>グリッパ昇降:4 回 | | 合計<br>**「起立」→「転倒」**:5 回<br>**「転倒」→「起立」**:4 回 |

**2. 燃料交換後始末**

| 順番 | AHM使用内容 | AHM　起立⇔転倒 |
| --- | --- | --- |
| 1 | M／BにてAHMを、台車にてR／Bへ移送 | 移送:1 回 |
| 2 | R／BにてAHMを「転倒」→「起立」とし、FHM本体を炉内からAHMに収容 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1 回 |
| 3 | R／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にてM／Bへ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 4 | M／BにてAHMを「転倒」→「起立」にし、FHM本体を洗浄槽に収容 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1 回 |
| 5 | M／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にてR／Bへ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 6 | R／BにてAHMを「転倒」→「起立」とし、IVTM本体を炉内からAHMに収容 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1 回 |
| 7 | R／BにてAHMを「起立」→「転倒」にし、台車にてM／Bへ移送 | **「起立」→「転倒」**:1 回<br>移送:1 回 |
| 8 | M／Bにて「転倒」→「起立」にし、IVTM本体を洗浄槽に収容 | **「転倒」→「起立」**:1 回<br>グリッパ昇降:1 回 |
| 9 | M／Bにて「起立」→「転倒」にして保管 | **「起立」→「転倒」**:1 回 |
| 10 | IVTM本体洗浄後に、M／Bにて「転倒」→「起立」にして保管 | **「転倒」→「起立」**:1 回 |
| 移送:4 回<br>グリッパ昇降:4 回 | | 合計<br>**「起立」→「転倒」**:4 回<br>**「転倒」→「起立」**:5 回 |

表-3　加振試験結果一覧

| 試験No. | 試験条件 | | | | 結果 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 使用ワッシャ | 締付量（角度） | 加振振幅 | 加振回数 | 回転角と方向（緩み・締り） |
| 1 | 劣化品 | 0.16mm（45°） | 100% | 10 | 1.25°　緩み |
| 2 | 劣化品 | 0.16mm（45°） | 150% | 10 | 10°　緩み |
| 3 | 劣化品 | 0.31mm（90°） | 100% | 10 | −3.75°　締り |
| 4 | 劣化品 | 0.31mm（90°） | 150% | 10 | 6.25°　緩み |
| 5 | 劣化品 | 0.31mm（90°） | 100% | 10 | −10°　締り |
| 6 | 劣化品 | 0.16mm（45°） | 100% | 10 | −10°　締り |
| 7 | 劣化品 | 0.16mm（45°） | 100% | 10 | −8.75°　締り |
| 8 | 新品 | 0.16mm（45°） | 150% | 10 | 0° |
| 9 | 新品 | 0.16mm（45°） | 150% | 10 | −2.5°　締り |
| 10 | 新品 | 0.16mm（45°） | 150% | 10 | −7.5°　締り |
| 11 | 実機 | 0.31mm（90°） | 100% | 10 | −3.75°　締り |
| 12 | 実機 | 0.31mm（90°） | 150% | 10 | 3.75°　緩み |
| 13 | 実機 | 0.31mm（90°） | 150% | 10 | 1.25°　緩み |
| 14 | 実機 | 0.31mm（90°） | 150% | 10 | −10°　締り |
| 15 | 実機 | 0.31mm（90°） | 150% | 10 | −10°　締り |
| − | 劣化品 | 0 mm（0°） | 150% | 33 | 90°　緩み |

【注記】
○使用ワッシャ：「劣化品」は加速試験による7年劣化相当品。「新品」は加振試験のために新規購入した品。「実機」はIVTM落下事象時にAHMに装着されていた品。（「実機」はパワーシリンダ、U字金具も実機品）
○締付量：U字金具のワッシャ締付け量。
※U字金具を締付けた後にパワーシリンダ本体の取付け角度を変えて、爪と爪開閉ロッドの向きを調整。
○U字金具のねじはM8であり、ねじ1周（360°）で1.25mmのピッチとなることから、0°で0mm、45°で約0.16mm（1.25/8）、90°で約0.31mm（1.25/4）の締付けとなる。
※0°で0mmとは、U字金具がワッシャに触れた程度の締め込まれていない状態。

【加振試験結果から考察する爪開閉ロッドのメカニズム】

AHM運用中に発生する振動によりAHMグリッパが揺れた際に、①2つのグリッパ爪が爪接続ピンを支点に左右不規則に揺れ、②各々のグリッパ爪が爪開閉ロッドへ水平 X 方向に当たり、③グリッパ爪と爪支持板との隙間(片側約2㎜)及び爪接続ピンのあそび代で爪が水平 Y 方向にも揺れ、④グリッパ爪と爪開閉ロッドに水平 Y 方向の摩擦力が発生する。⑤グリッパ爪の衝突荷重と摩擦力が偶発的に作用して回転トルクが発生する。このメカニズムにより、燃料交換に伴うAHM運用時のAHM転倒から起立時の振動に起因して、爪開閉ロッドの回転が不定期に進行し、25° を超えるとグリッパ爪が左右対称に当たらなくなるため、一気に 90° まで回転に至ったと推測する。

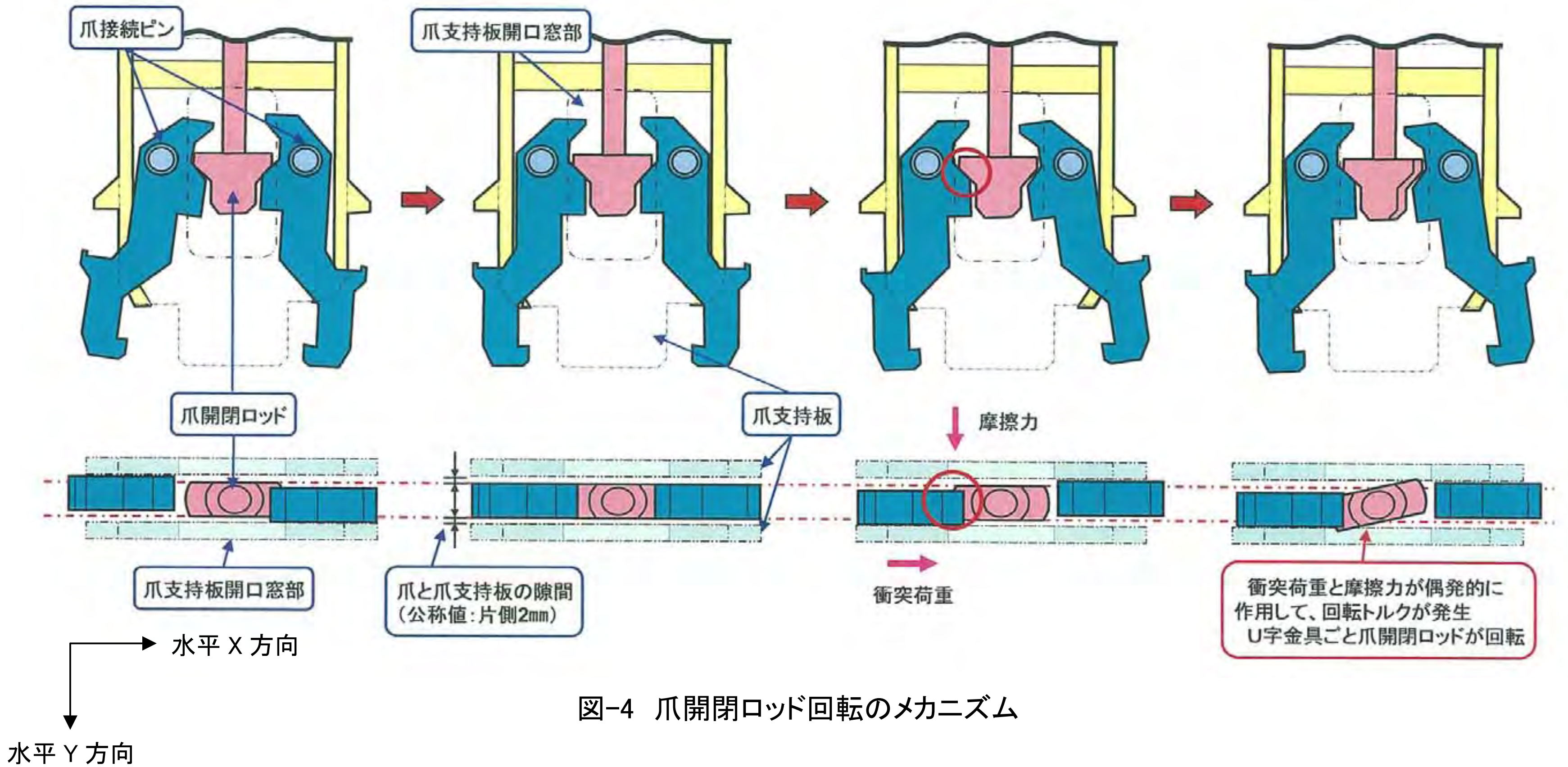



図-4 爪開閉ロッド回転のメカニズム

添付資料-10-14：爪開閉ロッドの動作再現試験

1.　目的

爪開閉ロッドが回転した状態の時に、爪開閉ロッドが大きく廻り始める角度を確認するとともに、その後の動作で爪開閉ロッドが 90°まで回転することを確認する。

2.　試験方法

試験体にはパワーシリンダを使用し、パワーシリンダを駆動させることにより爪開閉ロッドを上下させ、グリッパ爪の開閉動作を行う。グリッパ爪開閉の順序およびU字金具周りの条件は、今回の落下事象直前の実機AHMグリッパの状態を模擬するものとする。

次に手順を示す。

1）モックアップ試験体準備

爪支持板にパワーシリンダ、爪開閉ロッド及びグリッパ爪等を取付ける。図1に試験体外観図を示す。

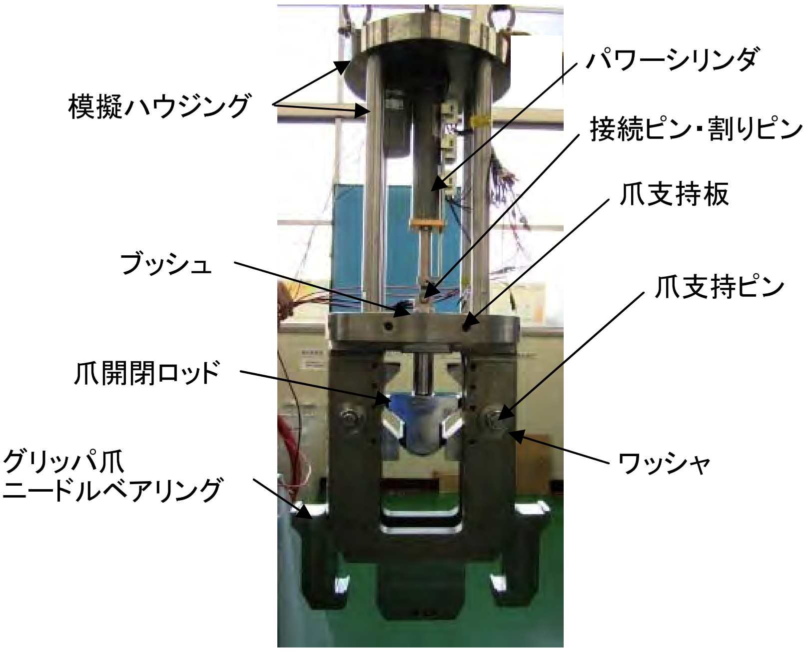
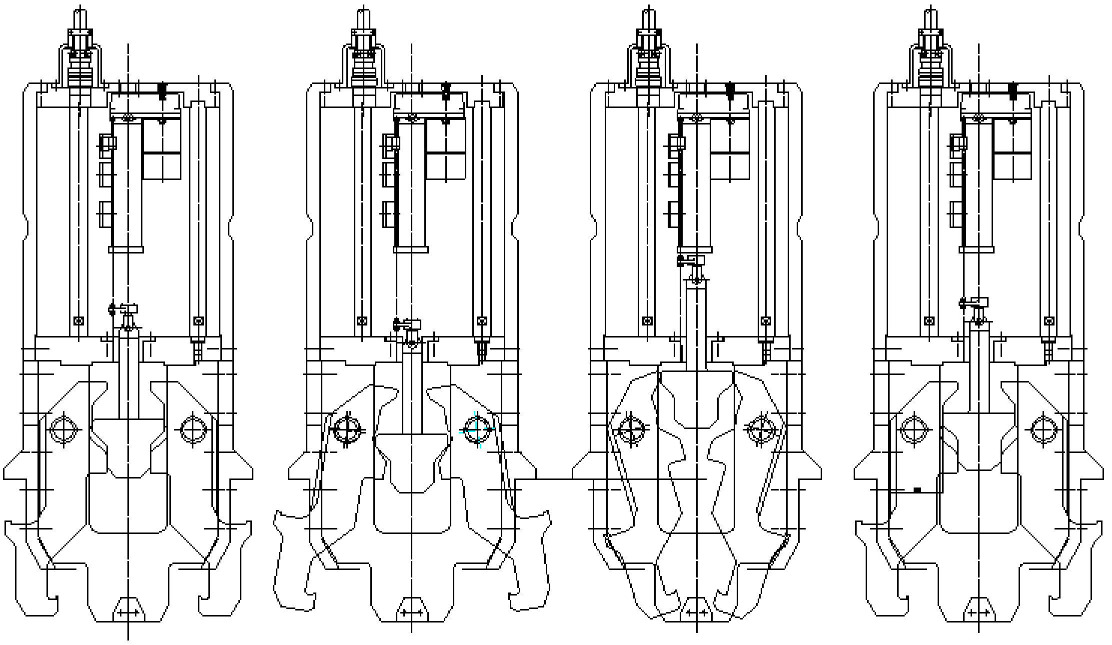



図 1　試験体外観

2）確認試験

今回のIVTM本体落下直前の状態は、FHM本体を炉内よりM／Bに正常に移送完了後、IVTM本体の炉内からの収納を行っていることから、爪開閉シーケンスは以下の様になる。

① 爪開閉ロッドを図 2(1)のFHMつかみ位置に駆動させる。
爪開閉ロッドを緩め方向に回転させ、図 3 の試験角度（25°）*に合わせる。
② 爪開閉ロッドを図 2(2)のFHMはなし位置に駆動し、角度を確認する。
③ 爪開閉ロッドを図 2(3)のIVTMはなし位置に駆動し、角度を確認する。
④ 爪開閉ロッドを図.2(4)のIVTMつかみ位置に駆動し、角度を確認する。
⑤ 爪開閉ロッドに荷重を付加し、角度を確認する。



(1)FHMつかみ　(2)FHMはなし　(3)IVTMはなし　(4)IVTMつかみ

図 2 爪開閉ロッド設定位置

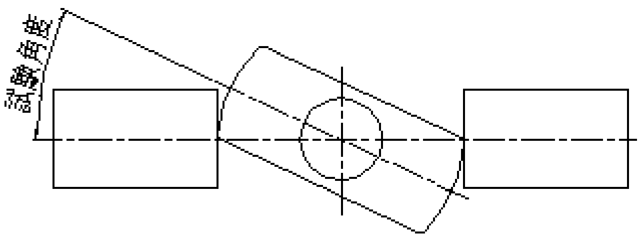



図 3 爪開閉ロッド試験角度

*: 試験角度の 25° は、爪開閉ロッドの構造上、爪開閉ロッドの回転が進行し、グリッパ爪と接触する爪開閉ロッドの短辺がエッジ部となる角度をいう。これ以上回転した場合、正常な開き幅とならない。

3.　試験結果

試験結果を表 1 に示す。なお、「＊」は、大きく廻った状態を示す。

表 1　爪開閉ロッド回転確認試験結果

| 爪開閉ロッドの位置 | 角度 | 参考図 |
|---|---|---|
| ①FHMつかみ | 約 25° | 図 7 |
| ②FHMはなし | 約 28° | 図 8 |
| ③IVTMはなし | *約 74° | 図 9 |
| ④IVTMつかみ | *約 74° | 図 10 |
| ⑤IVTMつかみ（荷重を付加） | *約 90° | 図 11 |

試験結果より、爪開閉ロッドの角度を正規方位に対して 25°傾けて設定した時、FHMはなし位置で図 4 に示すように爪開閉ロッドのテーパ外周面が爪の斜面と接触し、爪開閉ロッドがわずかに回転した。

その後、爪開閉ロッドをIVTMはなし位置まで上昇させた時に図 5 に示すようにグリッパ爪上端部と爪開閉ロッドの外周面が接触し、グリッパ爪の自重により爪開閉ロッドが押され、約 74°回転した。最後にIVTMつかみ位置とした後、グリッパ爪にIVTM本体の重量約 3.3ton の 1/200 程度の荷重 16kg を吊したところ、爪開閉ロッドは約 90°回転した。図 6～11 に試験状況を示す。

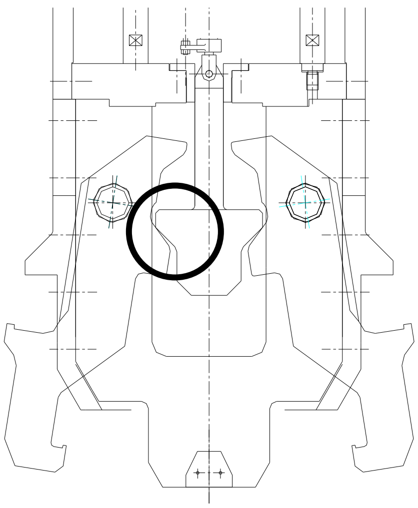


図 4　FHMはなし位置

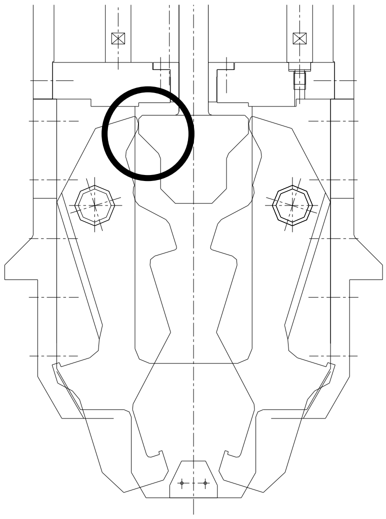


図 5　IVTMはなし位置

図 6　FHMつかみ位置
（角度：0°　）

図 7　FHMつかみ位置
（ロッド約 25°　回転）

図 8-1　FHMはなし位置
（ロッド回転角：約 28°　）

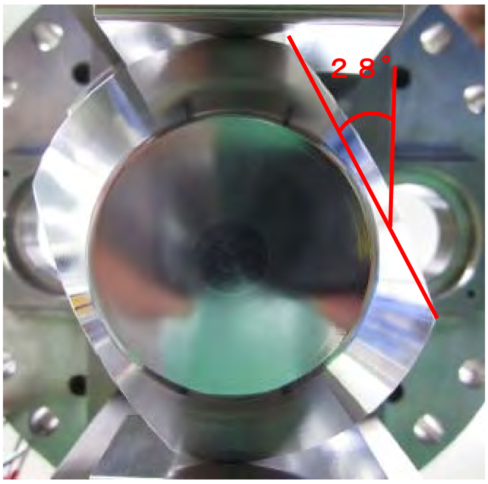



図 8-2　FHMはなし位置
（ロッド回転角：約 28°　）

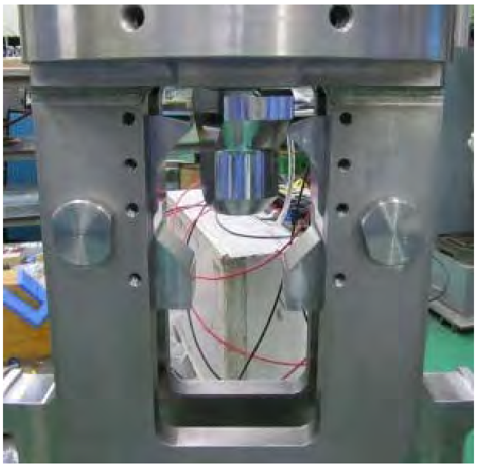


図 9-1　IVTMはなし位置
（ロッド回転角：約 74°　）

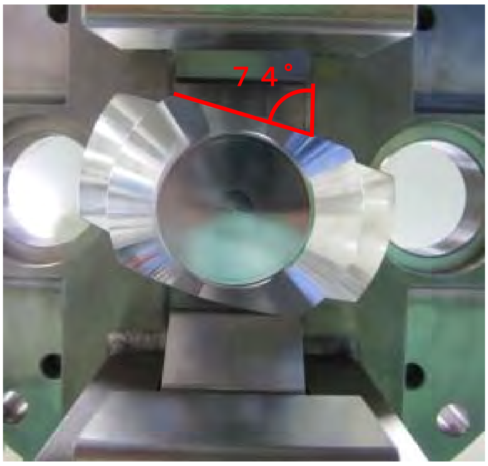



図 9-2　IVTMはなし位置
（ロッド回転角：約 74°　）

図 10　IVTM つかみ位置
（ロッド回転角：約 74°）

図 11-1　荷重付加
（ロッド回転角：約 90°）

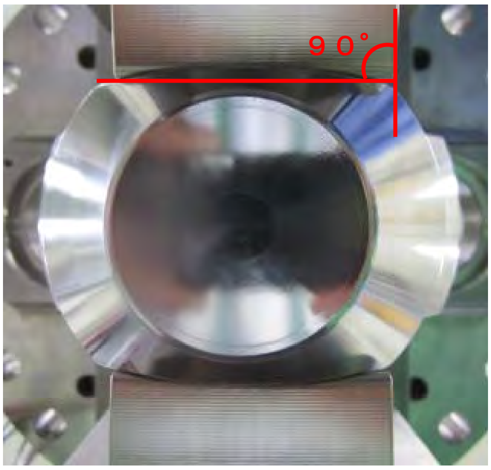



図 11-2　荷重付加
（ロッド回転角：約 90°）

図 11-3　荷重付加

4.　まとめ

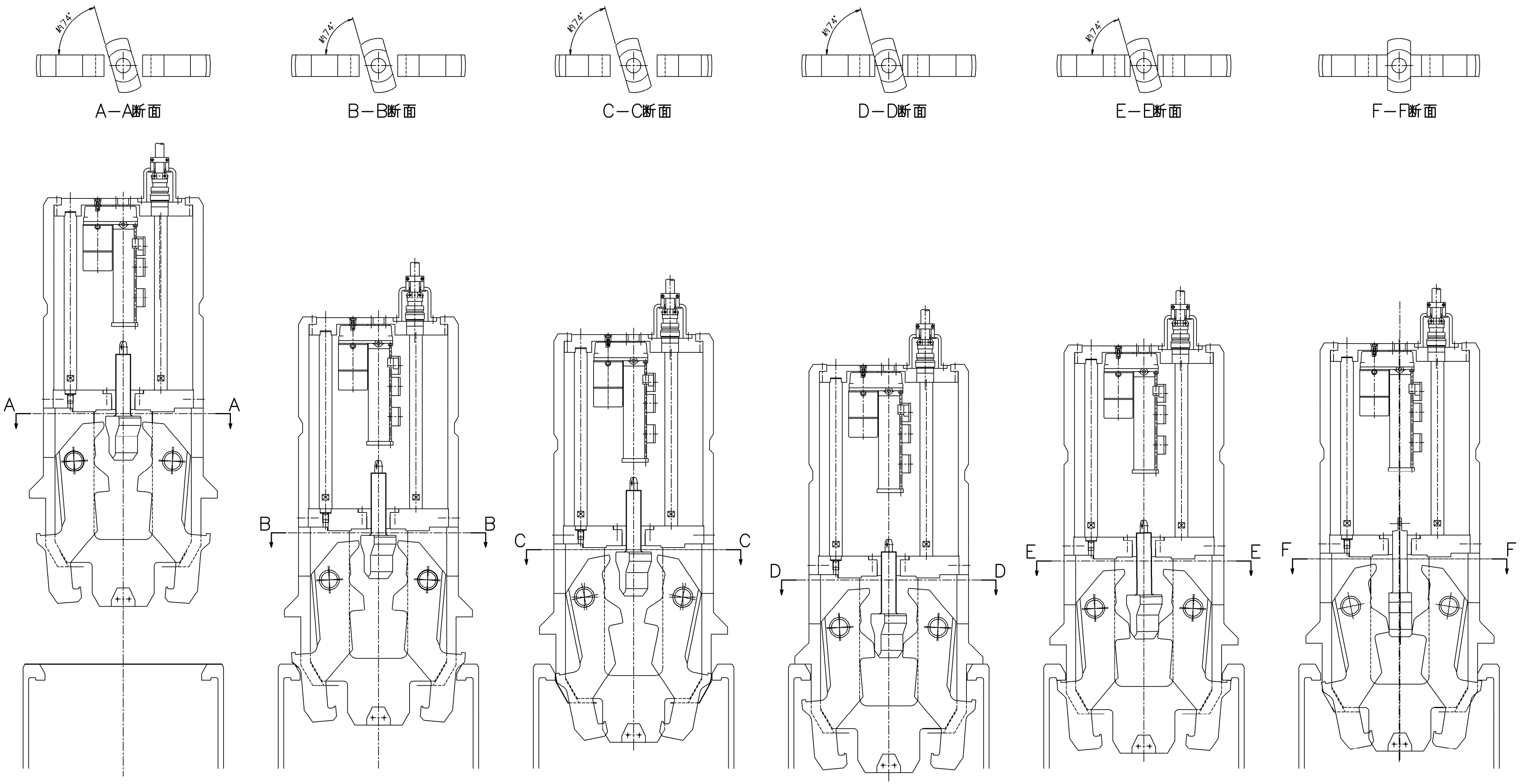
以上の試験の結果から、一連のIVTM本体をつかむまでのAHMグリッパの動作において、爪開閉ロッドが約25°回転した状態では以下の状況が発生し、最終的には爪開閉ロッドが約90°まで回転することを確認した。

① FHMはなし位置からIVTMはなし位置に爪開閉ロッドを移動した際に、爪開閉ロッドに大きな回転が生じることを確認した。また、IVTMはなし位置では爪開閉ロッドが回転しているためグリッパ爪をはなし方向に動作できないことを確認した。

② 次に爪開閉ロッドをIVTMつかみ位置に移動した場合、爪開閉ロッドが回転しているためグリッパ爪をつかみ方向に動作できないことを確認した。

③ ②の状態において、グリッパ爪が閉じる方向に力を加えると、爪開閉ロッドが左右のグリッパ爪に挟まれる状態となり、爪開閉ロッドが約90°まで回転することを確認した。

# 添付資料-10-15 ： IVTM本体落下の推定メカニズム




状態 ①
爪開閉ロッドは
正規位置より回転

状態 ②
爪開閉ロッド２５°以上回転
離し時

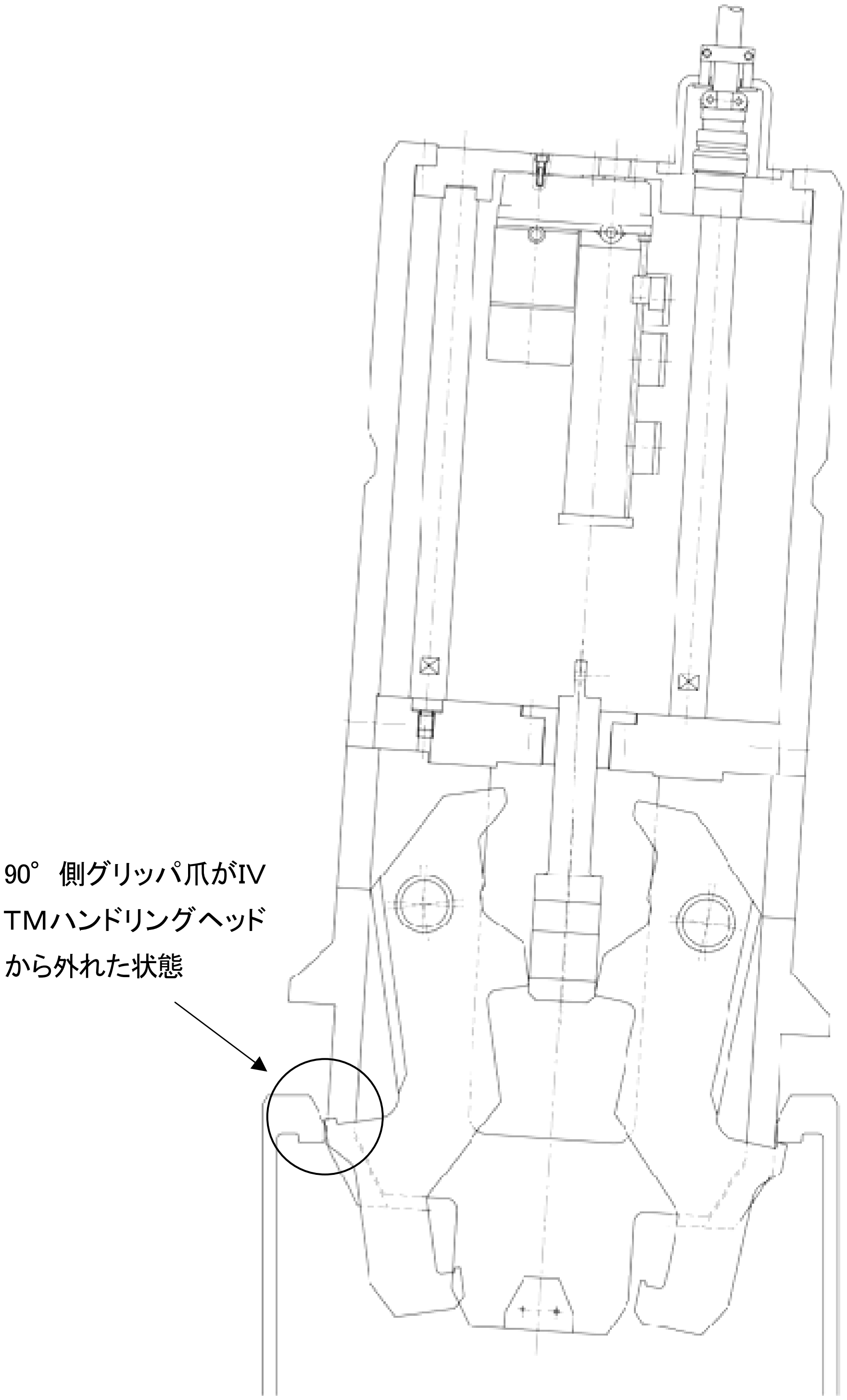
状態 ③
爪開閉ロッド２５°以上回転
離し時　挿入途中

状態 ④
爪開閉ロッド２５°以上回転
着床　つかみ時

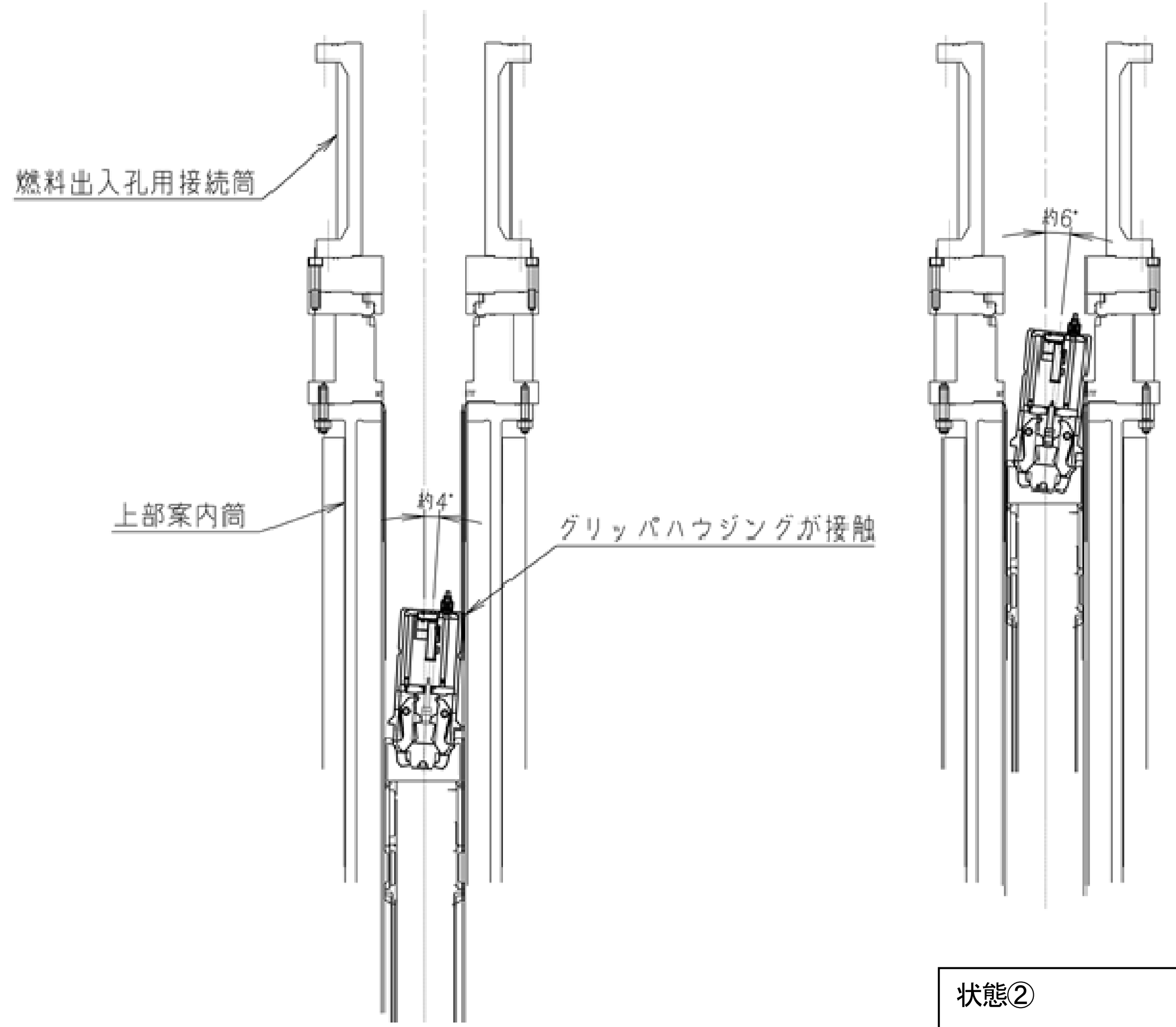
状態 ⑤
爪開閉ロッド２５°以上回転
つかみ時
爪の先端がIVTM H/Hに
乗り上げ

状態 ⑥
爪開閉ロッド２５°以上回転
つかみ時
爪の内側に移動
引っかかり減少
爪開閉ロッドの振れ

添付資料−10−16 ： AHMグリッパの片吊り



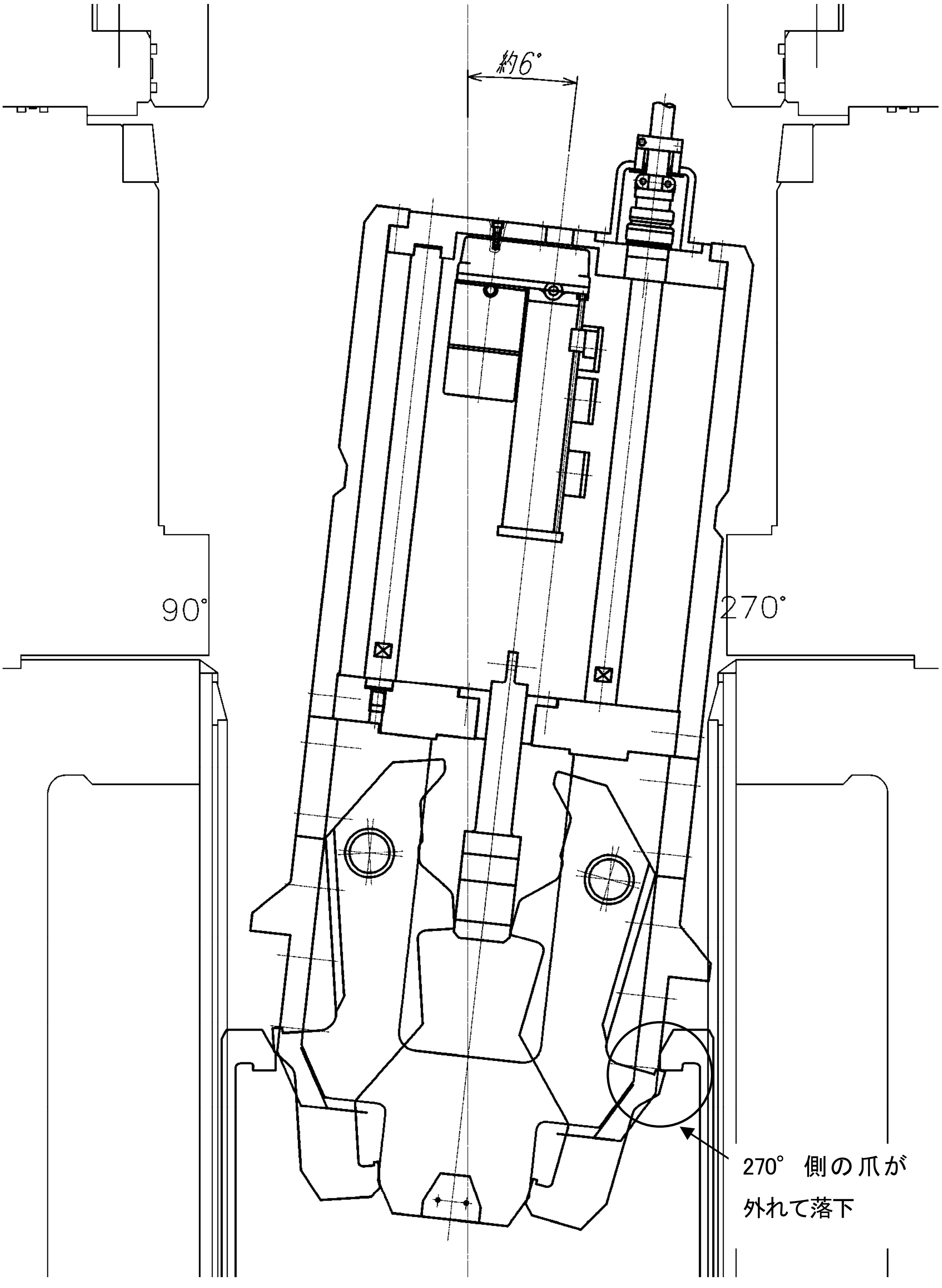
添付資料-10-17 ： IVTM本体吊り上げ状態



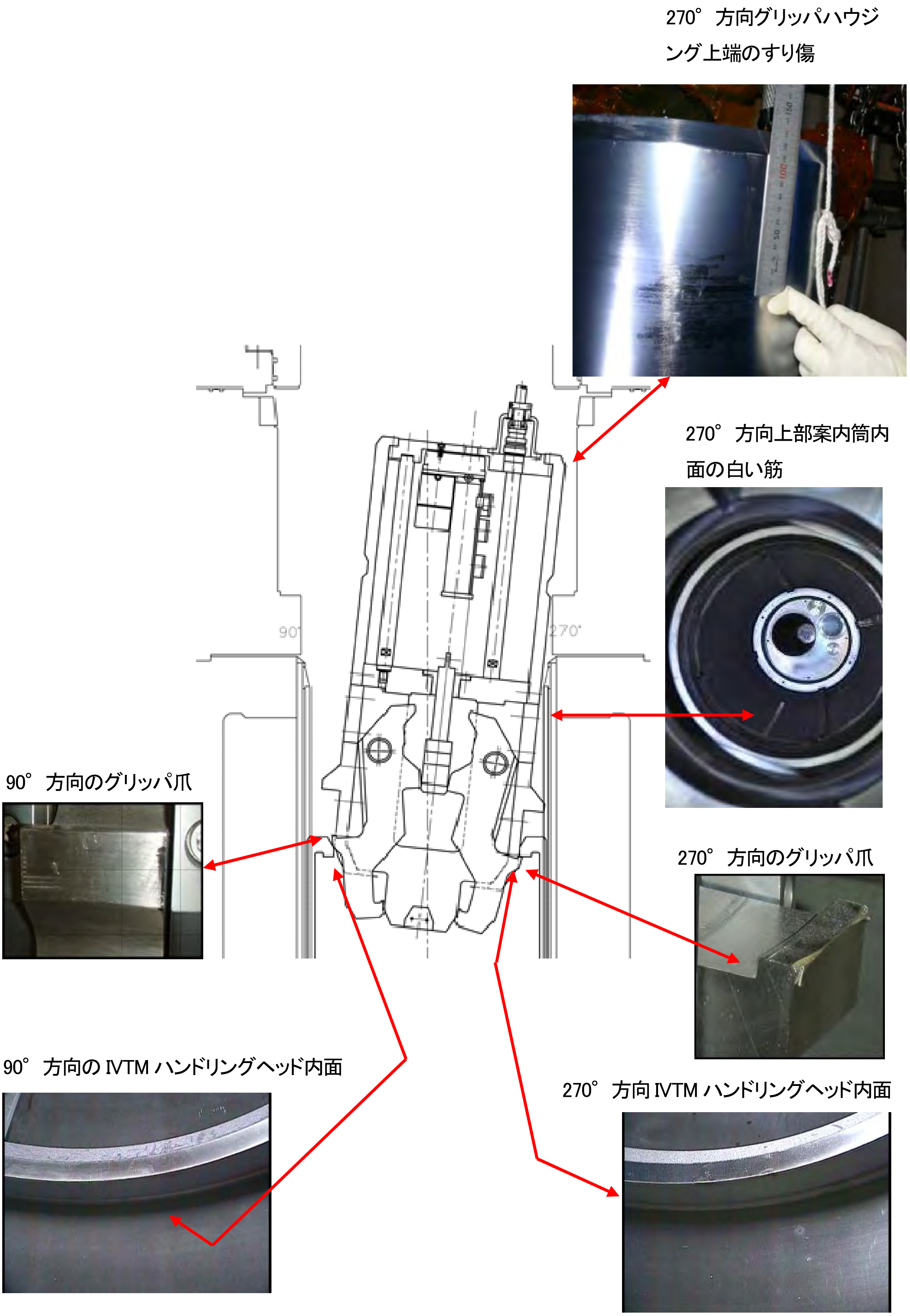

状態①
吊り上げ開始

状態②
約2m上昇・落下

添付資料-10-18 ： IVTM本体落下直前の状態



添付資料-10-19 ： AHMグリッパ、IVTM本体及び上部案内筒各部状態



添付資料-11-1：AHM 設計時の主な機能要求事項

| 機能要求事項 | 契約仕様書 | 機器設計仕様書 |
|---|---|---|
| 取扱対象機器 | ・燃料交換装置本体<br>・炉内中継装置<br>・ナトリウム透視装置本体 | ・燃料交換装置本体<br>・炉内中継装置<br>・ナトリウム透視装置本体 |
| 落下防止対策 | ・AHM を受渡し設備に据付け、取扱対象機器の着脱、挿入、引抜、保持が行えること | ・AHM を受渡し設備に据付け、取扱対象機器の着脱、挿入、引抜、保持が行えること |
| | ・AHM内に収納した取扱対象機器を支持・保護すること | ・AHM内に収納した取扱対象機器を支持・保護すること |
| | ・AHMは、取扱対象機器の収納状態で竪置、起立転倒、横置状態が可能な構造であること | ・AHMは、取扱対象機器の収納状態で竪置、起立転倒、横置状態が可能な構造であること |
| | ・取扱対象機器が所定の据付レベルに到達したことを検出する機能を有すること | ・取扱対象機器が所定の据付レベルに到達したことを検出する機能を有すること |
| | ・取扱対象機器の吊り、不吊りを検出する機能を有すること | ・取扱対象機器の吊り、不吊りを検出する機能を有すること |
| | ・巻上装置の過負荷及び取扱対象機器の昇降操作途中での引っ掛かりを検出し、昇降動作を停止する機能を有すること | ・巻上装置の過負荷及び取扱対象機器の昇降操作途中での引っ掛かりを検出し、昇降動作を停止する機能を有すること |
| | ― | ・グリッパの誤作動防止のインタロックを有すること |
| | ― | 【安全設計上の要求】<br>①AHM 巻上装置は、電源喪失時にもグリッパの滑落を防止すること<br>②インタロックの設置により、グリッパの未着床状態での取扱対象機器の切離し操作を防止すること<br>③巻上ワイヤの単一破損による落下を防止すること |
| 炉内カバーガスの漏えい防止 | ・取扱対象機器の取扱い時、付着ナトリウムの酸化防止及び炉内カバーガスの漏えい防止のため、気密性を有すること | ・取扱対象機器の取扱い時、付着ナトリウムの酸化防止及び炉内カバーガスの漏えい防止のため、気密性を有すること |
| | ・C/V内の受渡し設備に据付けて、炉内カバーガスと連通する箇所は、炉内カバーガスのシールを行うこと<br>また、回転シール部及び取外しが頻繁な固定シール部は、原則として二重Oリングとし、炉内カバーガス圧より高い新鮮アルゴンガスを二重Oリング間に供給すること | ・C/V内の受渡し設備に据付けて、炉内カバーガスと連通する箇所は、炉内カバーガスのシールを行うこと<br>また、回転シール部及び取外しが頻繁な固定シール部は、原則として二重Oリングとし、炉内カバーガス圧より高い新鮮アルゴンガスを二重Oリング間に供給すること |
| | ― | ・シール部の漏えい率については、常設する本設機器と同等のものとすること |
| | ・水平型USV孔用案内スリーブ、燃料交換孔用接続筒、燃料出入孔用接続筒上に AHM を据付けて取扱対象機器を炉内に挿入又は炉内から引抜く際には、炉内カバーガスの上昇を減らすため新鮮アルゴンガスでブローダウンを行うこと | 【他設備への要求機能】として記載<br>・炉上部アルゴンガス系<br>①各ドアバルブ間のガス置換ができること<br>②USV本体、FHM本体、IVTM本体の炉内挿入・引抜時に、炉内カバーガスの上昇を防止するためのブローダウンガスが供給できること |
| | ・AHM内部をアルゴンガス雰囲気に保ち、受渡し設備に据付け、取外す際には、AHMドアバルブと床側ドアバルブ間のガス置換を行うこと | |

| 機能要求事項 | 契約仕様書 | 機器設計仕様書 |
|---|---|---|
| 炉内カバーガスの漏えい防止 | ー | 【安全設計上の要求】<br>①原子炉上に設置し、AHM 内部が炉内カバーガスと連通した際には、炉内カバーガスを直接大気と接触させないための障壁を形成し、炉内カバーガスをシールすること<br>②上記据付状態で、シール部は、二重Oリングー新鮮アルゴンガス背圧方法等で信頼性を充分確保すること |
| ナトリウムの取扱い | ・収納した取扱対象機器から滴下するナトリウムの捕獲ができること | ・収納した取扱対象機器から滴下するナトリウムの捕獲ができること |
| | ・AHM 内部は洗浄可能な構造であること | ・AHM 内部は洗浄可能な構造であること |
| その他の事項 | ・取扱対象機器の取扱い時に、付着ナトリウム及び炉内カバーガスからの放射線をしゃへいし、AHM 周囲の線量率を規定値以下にすること | ・取扱対象機器の取扱い時に、付着ナトリウム及び炉内カバーガスからの放射線をしゃへいし、AHM 周囲の線量率を規定値以下にすること |
| | ・取扱対象機器を炉内に挿入する際には、取扱対象機器及び受渡し設備と相俟って据付方位の再現性を有すること | ・取扱対象機器を炉内に挿入する際には、取扱対象機器及び受渡し設備と相俟って据付方位の再現性を有すること |
| | ー | ・点検・保守性に配慮し、プラットホーム・梯子・点検孔等を設置すること |
| | ー | 【安全設計上の要求】<br>①耐震上の配慮<br>受渡し設備に竪置設置した際の地震時にも十分な強度を有するものとし、また、AHM の受ける地震時における荷重は、受渡し設備側で支持されること<br>②放射線被ばく低減<br>移動線源として取扱対象機器を AHM 内に収納した際には、表面線量率を規定値以内にできること |

## 添付資料-11-2：AHMグリッパ構造の設計の考え方

1．設計方針

AHMは、原子炉停止後の燃料交換準備作業、後始末作業時などにおいて、FHM本体、IVTM本体及びUSV本体を原子炉容器上に据付け、取外しを行う設備である。これら作業時間の短縮を図り、より合理的な運用を行う上で、グリッパ機構は、単一グリッパで多種の機器を取扱う方針としている。

2．つかみ方式の選定

不活性ガス中、ナトリウム中で取扱対象機器を把持する高速炉の燃料交換機等の吊り上げ機器では、取扱対象機器のつかみ動作を目視できないことから、グリッパとグリッパ挿入部に係合するハンドリングヘッドにテーパ部を設け、グリッパ下降時にグリッパと取扱対象機器に芯ズレが生じていた場合においても、調芯して着床しつかむことができるように、必然的に内つかみ方式が多用され、先行炉・海外炉での実績も多い。

もんじゅにおいても、不活性ガス中、ナトリウム中で取扱対象機器を把持するFHM、燃料出入設備等は内つかみ方式としている。

AHMにおいても、不活性ガス中で取扱対象機器を把持するため内つかみ方式を主とするが、1．に記載のとおり、AHMはFHM本体、IVTM本体及びUSV本体を取扱うことから、次の理由により、内つかみ・外つかみ双方の機能を持たせることとしている。

（1）IVTM本体（USV本体）の取扱い

IVTM本体は、燃料を出入するための燃料出入案内管を有しており、IVTM本体のハンドリングヘッド内には燃料出入用のスペースを設けることによって、燃料出入機能を確保している（図-1 参照）。

したがって、IVTM本体の取扱いは、燃料出入機能を確保すること及び調心機能を確保することから、内つかみ方式を選択している。（USV本体は、調心機能の確保のみ）

（2）FHM本体の取扱い

FHM本体は、昇降駆動装置との接続によって電源の供給等を行い駆動させるものであり、FHM本体頂部に電源・信号ケーブルを接続するためのコネクタを設置し、昇降駆動装置グリッパで接続する（図-2 参照）。

したがって、FHM本体頂部の配置上、電源・信号ケーブル用コネクタを交わすように外つかみ用ハンドリングヘッドを設置し、昇降駆動装置グリッパ形状で係合させ把持する方式としているため、AHMも同様に外つかみ方式で、AHMグリッパ形状で係合させ把持させるものとしている。

3. 設計・機能条件

（1）取扱機器の対象はFHM本体、IVTM本体及びUSV本体の 3 種類とする。

① 取扱機器の頂部には、AHMグリッパで取扱うためのハンドリングヘッドが設けられ、AHMグリッパによるつかみ・はなし操作が行えること。

（2）AHMグリッパのつかみ・はなし機構について、次の機能要求を満足すること。

① 単一のグリッパで3種類の取扱機器を対象として、つかみ、はなし、保持が行えること。

② 取扱対象機器の落下防止対策を講じること。

a. グリッパ巻上げ装置は、電源喪失時にもAHMグリッパの滑落を防止すること。

b. インタロックの設置により、AHMグリッパの未着床状態での取扱対象機器の切離し操作を防止すること。

c. 巻上ワイヤの単一破損による落下を防止すること。

（3）AHMグリッパ機構の制御について、以下の機能要求を満足すること。

① グリッパが所定の据付レベルに到着したことを検出する機能を有すること。

② 取扱対象機器の吊り・不吊りを検出する機能を有すること。

③ グリッパ巻上げ装置の過負荷及び取扱対象機器の昇降操作途中における引っかかりを検出し、昇降動作を停止する機能を有すること。

④ AHMグリッパの誤動作防止のインタロックを有すること。

4. グリッパ構造設計

AHMのグリッパは、ワイヤ巻取りドラムを有する巻上げ装置にワイヤロープ2本で吊り下げられ、グリッパ爪、爪開閉ロッド、パワーシリンダ（電動機、位置検出リミットスイッチを含む）から構成し、グリッパケーシング内にワイヤロープに取り付けるロードセルとともに収納する。AHMの全体図を図－3、グリッパの構造図を図－4、駆動原理を図－5 に示す。

（1）グリッパ爪の構造

① 爪構造（形状）

取扱機器の対象は3種類あり、それぞれ長さ、外径、重量が異なり、またFHM本体のハンドリングヘッドでは昇降駆動装置との連結機能も有することから、ハンドリングヘッド形状を同一にすることは不可能である。一方、燃料交換準備作業、後始末作業は作業期間の短縮を図るため、グリッパ交換に時間を要するアダプタ式ではなく、単一グリッパで多種の機器の取扱いが出来るように、グリッパ爪は特殊な形状にしている。

なお、内つかみ方式としては常陽キャスクカー、もんじゅFHM、PHM、MHMの実施例があり、また、外つかみ方式としてはもんじゅFHM燃料切り離し装置の実施例がある。

② 本数

AHMは、FHM本体とFHM昇降駆動装置間の電源ケーブル及び計装ケーブルコネクタの配置を考慮して2本爪構造としている。グリッパ爪2本構造は、「常陽」の燃料取扱用キャスクカーを始め、BWRプラントでの取扱機器例など豊富な使用実績があり、十分な信頼性がある。

③ 調芯機能

AHMは、グリッパ自体にハンドリングヘッド穴中心への位置決め機能(テーパ部を利用した自重による調芯)を有するとともに、ワイヤロープで吊り下げたAHMグリッパがAHM内部で回転するのを防止するため、グリッパガイドハウジング外周にガイドローラーを設置し、AHM胴内側に取り付けられたガイドレールにガイドされる構造となっている。

AHMのグリッパはAHM胴内側のガイドレールに沿って昇降させることによって位置決め機能を保持し、取扱対象機器を確実につかめるようにしている。

(2) グリッパ爪の開閉機構

① グリッパ爪の開閉駆動方式

AHMグリッパの開閉機構は、一般的な把持機構である爪開閉ロッドとグリッパ爪の組合せによる方式とし、爪開閉構造を簡素化する観点からグリッパハウジング内に「常陽」の燃料取扱用キャスクカーの爪開閉操作レバーの駆動源として実績のある電動駆動(パワーシリンダ)を設置した。

AHMでは複数の機器を取扱い、各機器のハンドリングヘッド形状が異なるため、パワーシリンダにより爪開閉ロッド位置を上下に移動させてグリッパ爪位置を所定の位置で開閉させる。爪開閉ロッド駆動時のパワーシリンダ位置検出にはリミットスイッチを使用し、二重化(つかみはAND回路、はなしはOR回路)することにより信頼性を高めている。リミットスイッチは、パワーシリンダに取付け、パワーシリンダロッド上下位置の変化を検出することにより、間接的にグリッパ爪の開閉状態を確認する。

② 爪開閉ロッド

爪開閉ロッドはパワーシリンダで上下駆動される。爪開閉ロッドを上下させて爪の開閉動作を行う際には、爪開閉ロッドの自重、グリッパ爪の自重以外に、グリッパ爪と爪開閉ロッドとの摺動抵抗や爪支持ピンの摺動抵抗等の変動要因のある荷重が作用することを考慮し、機能上不要となる爪開閉ロッドのグリッパ爪に当たらない部分を削り落として円筒形状から平板形状にすることにより軽量化を行い、パワーシリンダの容量に余裕を持たせている。

なお、設計段階では、爪開閉ロッドにパワーシリンダによる上下駆動力のみが伝達され、回転力が生じることはないと判断し、パワーシリンダと爪開閉ロッドの接合部のU字金具はゴムワッシャーによる廻り止めで、当該ねじが緩むことはないと考えていた。但し、当初据付け時、爪開閉ロッドとパワーシリンダの接続部のU字金具のねじには、緩み止め接着剤(ロックタイト)が塗布されていたことが判

明している。

（3）その他考慮事項

① グリッパ爪とワイヤ（ロードセル取付け）の配置

グリッパ爪はグリッパハウジングの下部グリッパ支持板に取り付けられているが、ロードセル（荷重検出器）を取り付けたワイヤについては、グリッパ長を抑制しグリッパ支持板とロードセルとの干渉を防止する配置上の制約から、グリッパ爪の動作方向に対して 90°方向を変えて取付けている。

② グリッパハウジングの設置

パワーシリンダ、パワーシリンダ付属リミットスイッチ及びロードセルは、ナトリウムベーパ雰囲気から隔離する目的でグリッパハウジング内に収納している。

4. 落下防止対策

把持機構を有する機器で必要な安全対策（落下防止対策）には離脱防止対策と急速落下対策がある。AHMでもこの対策を考慮した以下の設計としている。

（1）離脱防止対策

① グリッパ爪先端部は直角で上方に屈曲させたフック付きとし、取扱対象機器のハンドリングヘッドにもこれに嵌合する溝を設けることにより、吊り上げて取扱対象機器の自重が作用した際、幾何学的に爪が外れない方式としている。（セルフロック方式、機械的インタロックともいう。）。

② 駆動力である電源の喪失によっても、グリッパ爪が「はなし」状態とならないようにフェイル・セーフの設計としている。

③ グリッパ巻上げ装置にグリッパ爪開閉・昇降時の荷重検知及び位置検知機能を設け、着地と吊り上げを確認する。一旦吊り上げた取扱対象機器は、誤操作、誤信号によっても落下させないように、着地位置においてのみ、爪の開閉を可能とする電気的インタロックを設けている。

④ グリッパ爪のつかみ・はなし状態は、パワーシリンダに取り付けたリミットスイッチを二重に設けて検出する機構とし、信頼性を向上させている。

（2）急速落下に対する対策

① ワイヤロープ切断対策（二重化）

荷重が一定値以上では上昇しないようにインタロックを設けて、ワイヤロープに過荷重を生じないようにする他、ワイヤロープを二重化して仮に1本が切断しても落下に至らないようにする。

② 落下防止に対する対策

停止保持用ブレーキは、2 台の無励磁作動型ブレーキ（永久磁石式、バネ力式）を多重に設置するとともに、グリッパ昇降速度異常（遠心ブレーキが作動した時に、カムをストライカとしてリミットスイッチが作動）及びケーブル巻取異常（ドラムでの乱巻き防止）を検知して、昇降を停止する電気的インタロックを設けている。

5．IVTM本体落下事象に係るAHM設計の妥当性評価

上述したAHMグリッパの落下防止対策について、従来設計の妥当性をまとめたものを表－1に示す。

この表から分かるように、次の２点を満たしていれば、AHMグリッパは確実に取扱対象機器を把持することができ、落下に至ることはない。

① 爪開閉ロッドが回転しないこと。

② 爪開閉ロッドの上下方向の位置が所定の位置から大幅にずれないこと。

爪がつかみ状態を保持できる爪開閉ロッドの上下方向範囲:

・ 正規位置から上方9．4mm、下方21．5mmの範囲（IVTM、USV取扱時）

・ 正規位置から上方23．9mm、下方7mmの範囲（FHM取扱時）

詳細は別紙１参照。

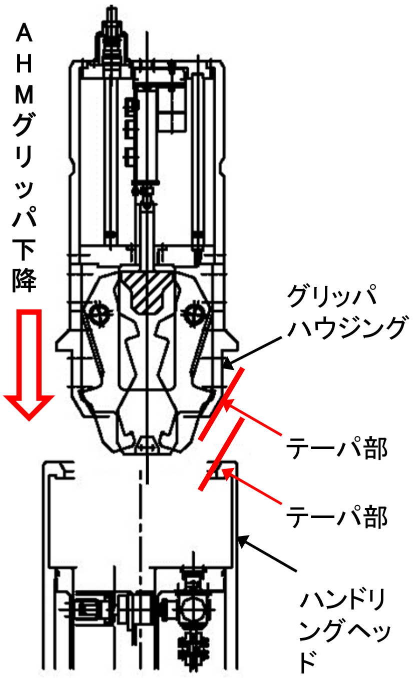
以上

表-1 AHMグリッパ設計の離脱防止機能に係る妥当性評価

| No. | 項　目 | 従来設計 | 設計妥当性評価 | 問題点 | 対　策 | 信頼性向上対策 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | グリッパ爪構造、爪本数 | ・2本爪フック付き内つかみ及び外つかみ方式<br>・常陽キャスクカーで採用実績のある2本爪を踏襲。 | ・グリッパ爪先端部を直角に上方に屈曲させたフック付きとし、取扱対象機器ハンドリングヘッドにもこれに嵌合する溝を設けることにより、吊り上げて取扱対象機器の自重が作用した際、幾何学的に爪が外れない方式(セルフロック方式)としている。(法令報告案添付資料-11-2 別紙 1、別紙 2 参照)<br>・製作時の機能試験及び実機での動作において一旦嵌合したグリッパ爪が途中で外れた事例はないことから、爪構造及び爪本数の設計は妥当である。<br>・2本爪の強度評価を実施し、設計検証を行っている。 | ― | ― | ― |
| 2 | グリッパ爪開閉(爪開閉ロッド上下動)方式 | ・パワーシリンダによる爪開閉ロッド直動型<br>・常陽キャスクカーで採用実績のあるパワーシリンダを踏襲 | ・パワーシリンダにより直接爪開閉ロッドの位置を上下に移動させてグリッパ爪位置を所定の位置で開閉させる。一般的な方式であり、適用実績が多く、信頼性が高い。<br>・工場製作時の機能試験及び実機での動作においてパワーシリンダは正しく上下動作を行っており、設計は妥当である。 | パワーシリンダの固定はねじ構造であり、ねじに緩み止め接着剤を塗布している。 | ― | パワーシリンダ取付け部の信頼性向上のため、ロッキングワイヤで廻り止めする。 |
| 3 | グリッパ爪支持方式 | ・一体化した爪支持板で爪を挟み込み、爪支持ピンで固定<br>・爪支持ピン及ナット側座金は回り止め溶接を施した上で自己回り止め機能付きナットで固定 | ・爪支持板は一体化しているため、爪支持板の片側が外れ、爪が脱落することは無い。<br>・グリッパ爪及び爪支持ピンは、つかみ時に片吊りとなった場合でも破断しない強度を有している。<br>・工場製作時の機能試験及び実機での動作において正常に作動しており設計は妥当である。 | 爪支持ピンは溶接によって廻り止めされているものの、固定がねじ構造である。 | ― | 形状維持に係る信頼性向上のため、爪支持ピンの固定部を溶接構造とする。 |

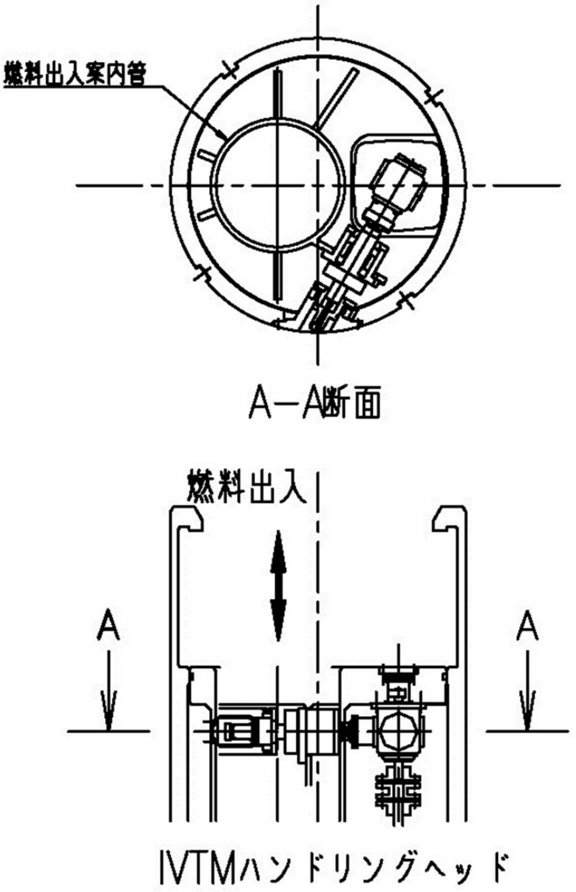
| No. | 項　目 | | 従来設計 | 設計妥当性評価 | 問題点 | 対　策 | 信頼性向上対策 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 爪開閉ロッド | 形状及び爪開閉方式 | ・テーパ付き平板形状ロッド上下動により爪を開閉 | ・爪開閉ロッドのテーパ部が爪の内面に沿って上下動することにより爪の開閉動作を行う。 | 今回、平板形状の爪開閉ロッドが約 90°回転したため、爪開閉機能が失われた。 | 支持板の開口部を狭くすることにより、爪開閉ロッドが回転しないようにする。 | ― |
| 5 | | パワーシリンダとの接続方法 | ・U字金具を介したねじによる接続 | ・ねじ部について、AHM運用に伴い発生する振動によって、爪開閉ロッドの廻り止め機能を喪失する可能性がある。 | ねじ部の廻り止め機能が不十分となり、爪開閉ロッドが約 90°回転し、爪開閉機能が失われた。 | パワーシリンダU字金具のねじ部をなくし、一体構造とする。 | ― |
| 6 | | 位置検出 | ・多重化したリミットスイッチ | ・パワーシリンダに取付けられたリミットスイッチにより、パワーシリンダロッド上下位置の変化を検出し、間接的にグリッパ爪の開閉状態を確認する。リミットスイッチは二重化することにより信頼性を高めている。<br>・グリッパ爪がつかみ状態を保持できる爪開閉ロッドの範囲は、正規位置から上方 9.4mm、下方 21.5mm であり、リミットスイッチの爪開閉ロッドが正規位置調整公差±2mm に対して十分余裕がある。(内つかみの場合)<br>(法令報告案添付資料-11-2 別紙 1 参照)<br>・工場製作時の機能試験及び実機での動作において正常に作動しており設計は妥当である。 | リミットスイッチの位置調整公差は±2mm としており、この精度で設置されている限り、グリッパ爪は必ずつかみ位置となる。万一 2 個のリミットスイッチが双方とも位置がずれた場合はグリッパ爪が正しいつかみ位置とならない可能性がある。<br>(内つかみの場合) | ― | リミットスイッチ取付け位置の信頼性向上のため、各リミットスイッチ間にスペーサを設置し、位置ずれの発生を機械的に防止する。 |

| No. | 項　目 | 従来設計 | 設計妥当性評価 | 問題点 | 対　策 | 信頼性向上対策 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 電源喪失時の落下防止（フェールセーフ） | ・パワーシリンダの電源喪失時にはブレーキが作動し、爪がはなし状態とならない設計 | ・工場製作時の機能試験で正常に作動しており設計は妥当である。 | ― | ― | ― |
| 8 | グリッパ未着地状態での切り離し操作防止 | ・昇降荷重と昇降位置によりグリッパの着地を確認した後、グリッパ爪の開閉が可能となるインタロック | ・工場製作時の機能試験及び実機での動作において正常に作動しており設計は妥当である。 | ― | ― | ― |




AHMグリッパは、昇降時目視確認できないことから、ハンドリングヘッドとの芯ズレをテーパ部によって調芯させ、着床することができる調心機能を確保している。

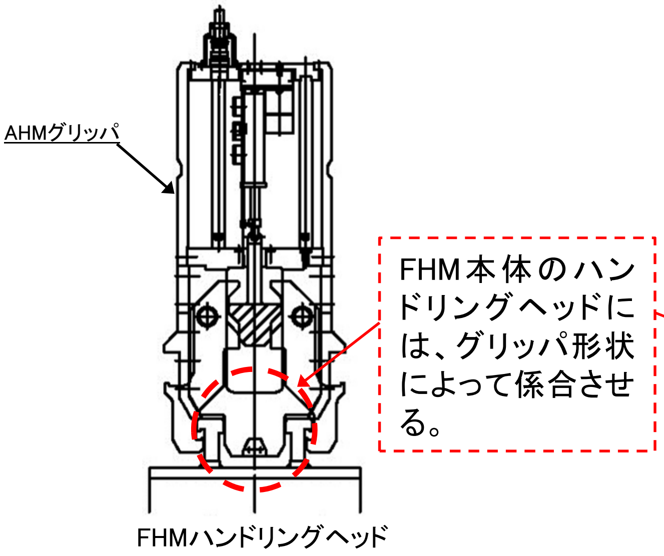
調芯機能の確保



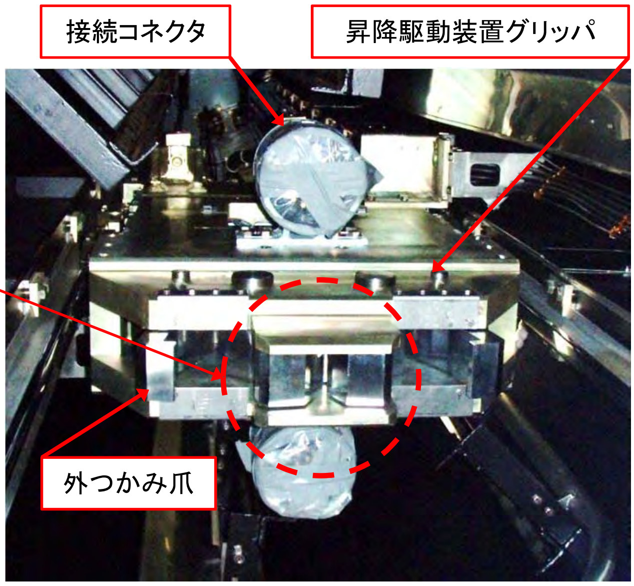

IVTM本体は、燃料を出し入れするための燃料出入案内管を有しており、 ハンドリングヘッドには燃料出入用のスペースを設けることによって、燃料出入機能を確保している。

燃料出入機能の確保

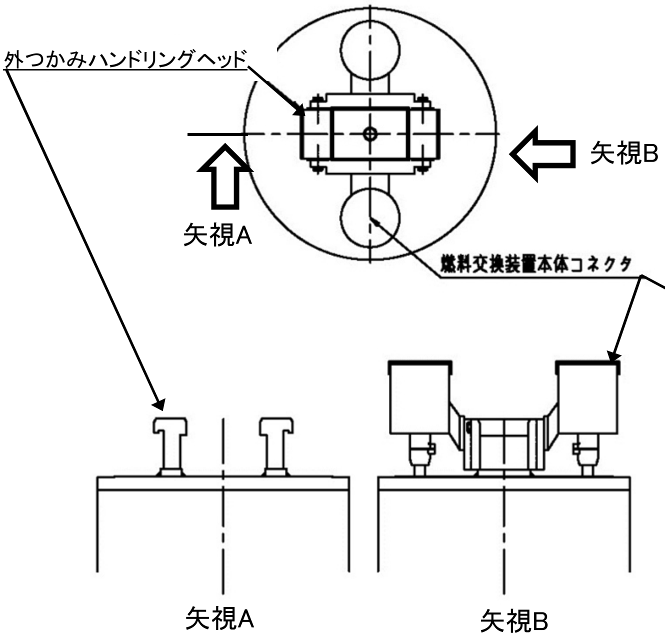
図−1 IVTM本体のハンドリングヘッドが内つかみ採用の説明




AHMグリッパでのFHMつかみ状態




昇降駆動装置グリッパ




FHMハンドリングヘッド

FHMハンドリングヘッド

FHMハンドリングヘッドには、昇降駆動装置（FHMの駆動装置）と接続する燃料交換装置本体コネクタ（電源及び信号用コネクタ）が設置されており、配置上これを交わすために外つかみハンドリングヘッドを採用している。

図−2　FHMハンドリングヘッドが外つかみ採用の説明

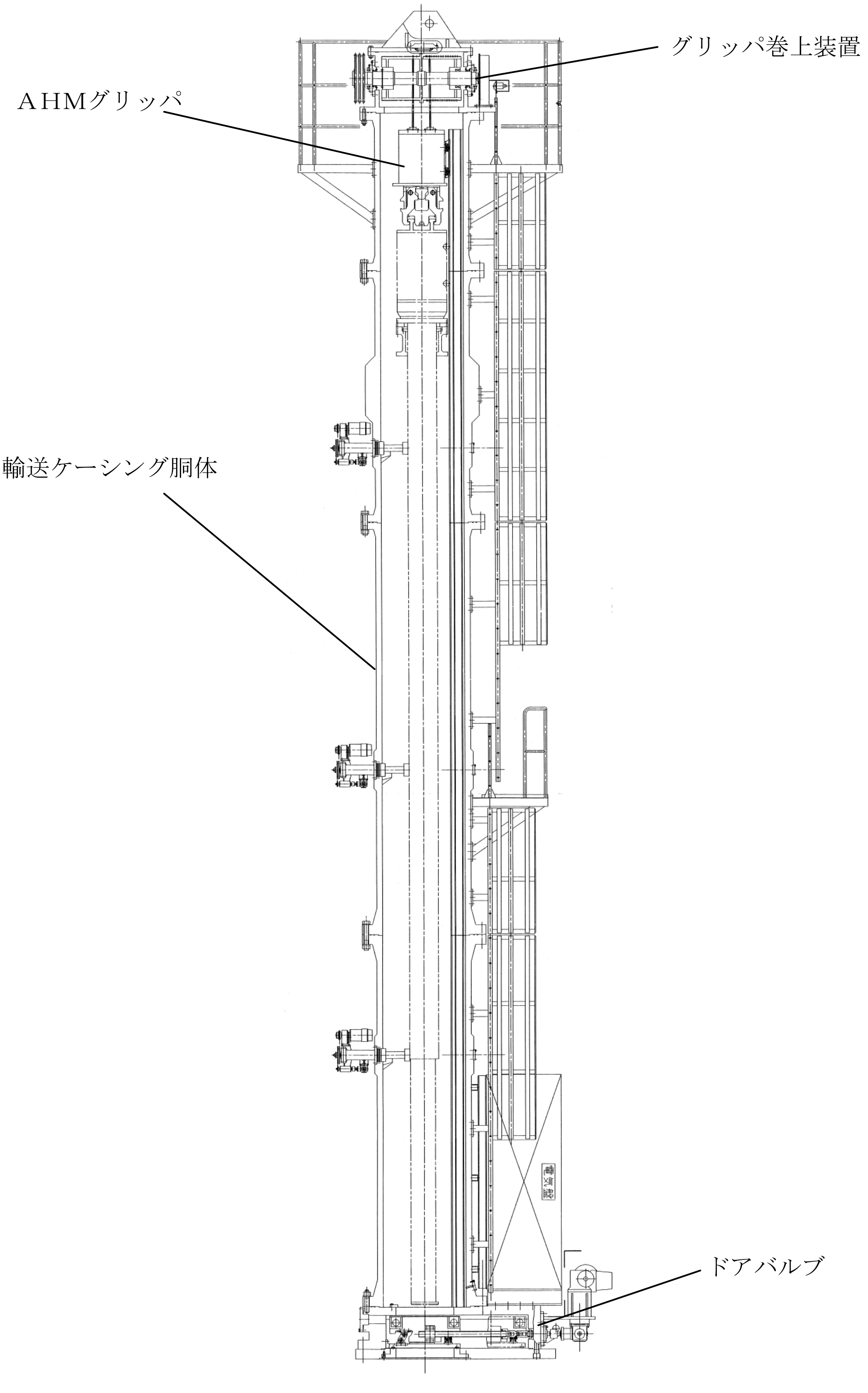
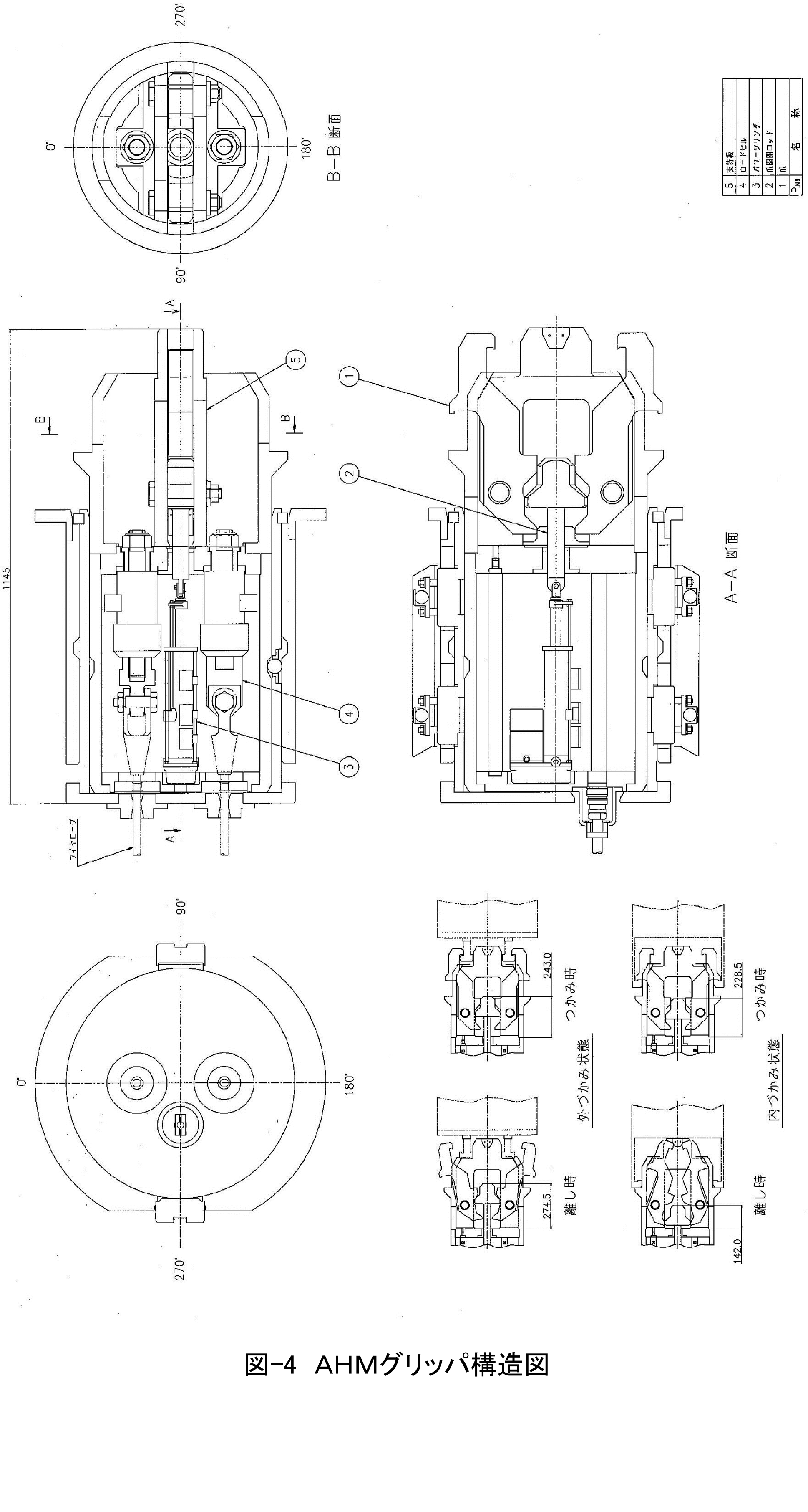
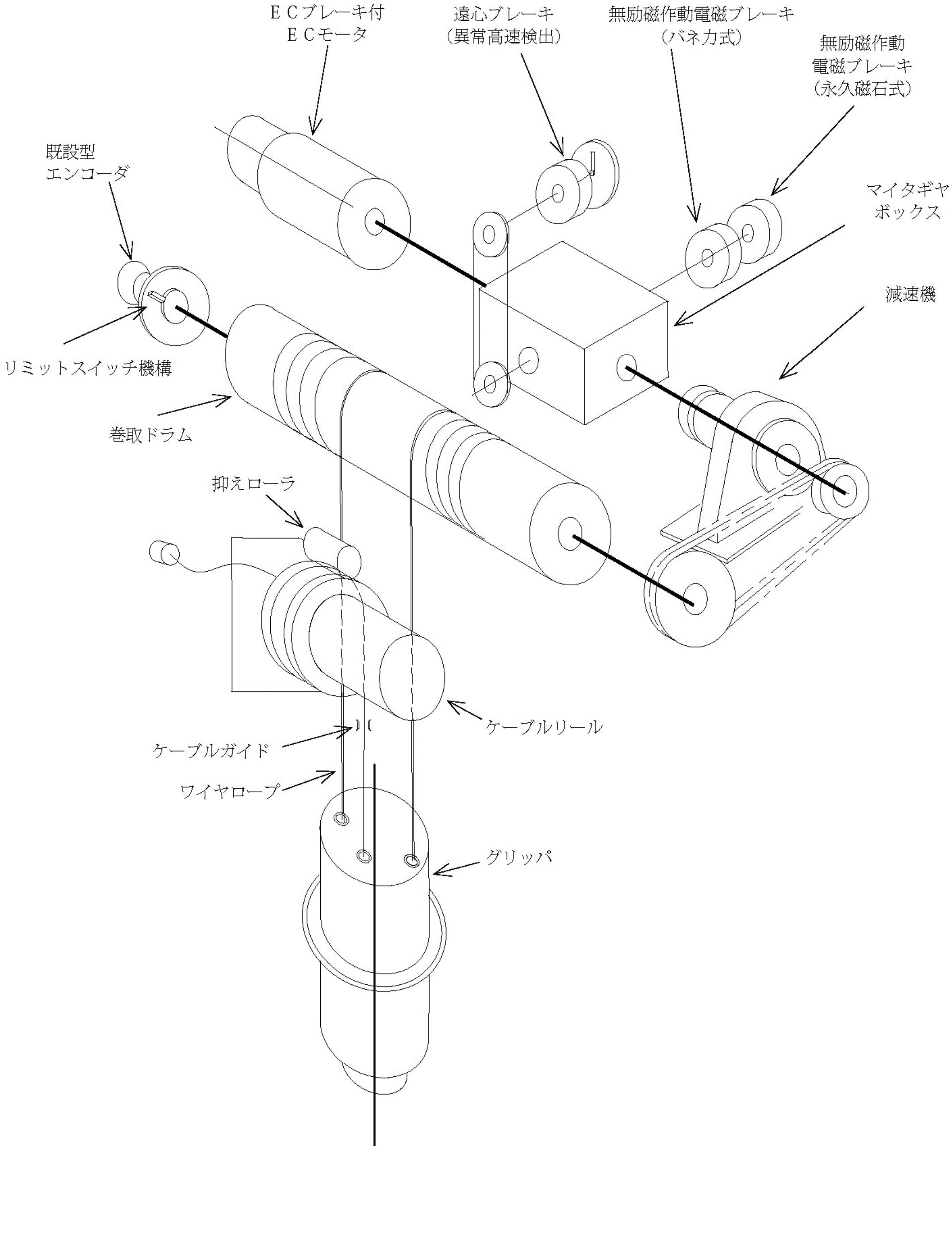



図-3 AHM全体図




図−4 AHMグリッパ構造図




図−5　グリッパ巻上げ装置駆動原理図

別紙１

AHMグリッパ爪開閉ロッドによる爪開閉状態の保持機能について

グリッパ爪が閉じた状態からグリッパ爪を開いてつかみ状態とするには、爪開閉ロッドを下方に動作させ、その先端部とグリッパ爪内側突起部を係合させる。別図−1 の左図にIVTM、USVつかみの場合の通常の爪開閉ロッドの位置を示す。

グリッパ爪を「開」状態とするためには、正常なつかみ状態を保つことができる爪開閉ロッドの駆動範囲（※）において、爪開閉ロッドの先端部の両サイドストレート部とグリッパ爪の内側突起部ストレート部とが係合している必要がある。爪開閉ロッドはパワーシリンダによって上下駆動させるが、その制御はパワーシリンダの動きに伴って移動するストライカにより押し込まれるリミットスイッチの接点によって位置決めされる。

すなわち、別図−1 に示すようにリミットスイッチが正規位置（爪開閉ロッド下端がグリッパ下端から311mm 上方の位置）に対して、上方ずれ限界位置 9.4mm 及び下方ずれ限界位置 21.5mm の範囲にある場合には、グリッパ爪は正常なつかみ常態を保持することができる。

また、リミットスイッチの取り付け調整は、正規位置に対して、±２mm の公差で実施することとしており、上述した限界位置の範囲（＋9.4mm〜－21.5mm）を超えることはない。

（※） 正常なつかみ状態を保つことができる爪開閉ロッドの位置：

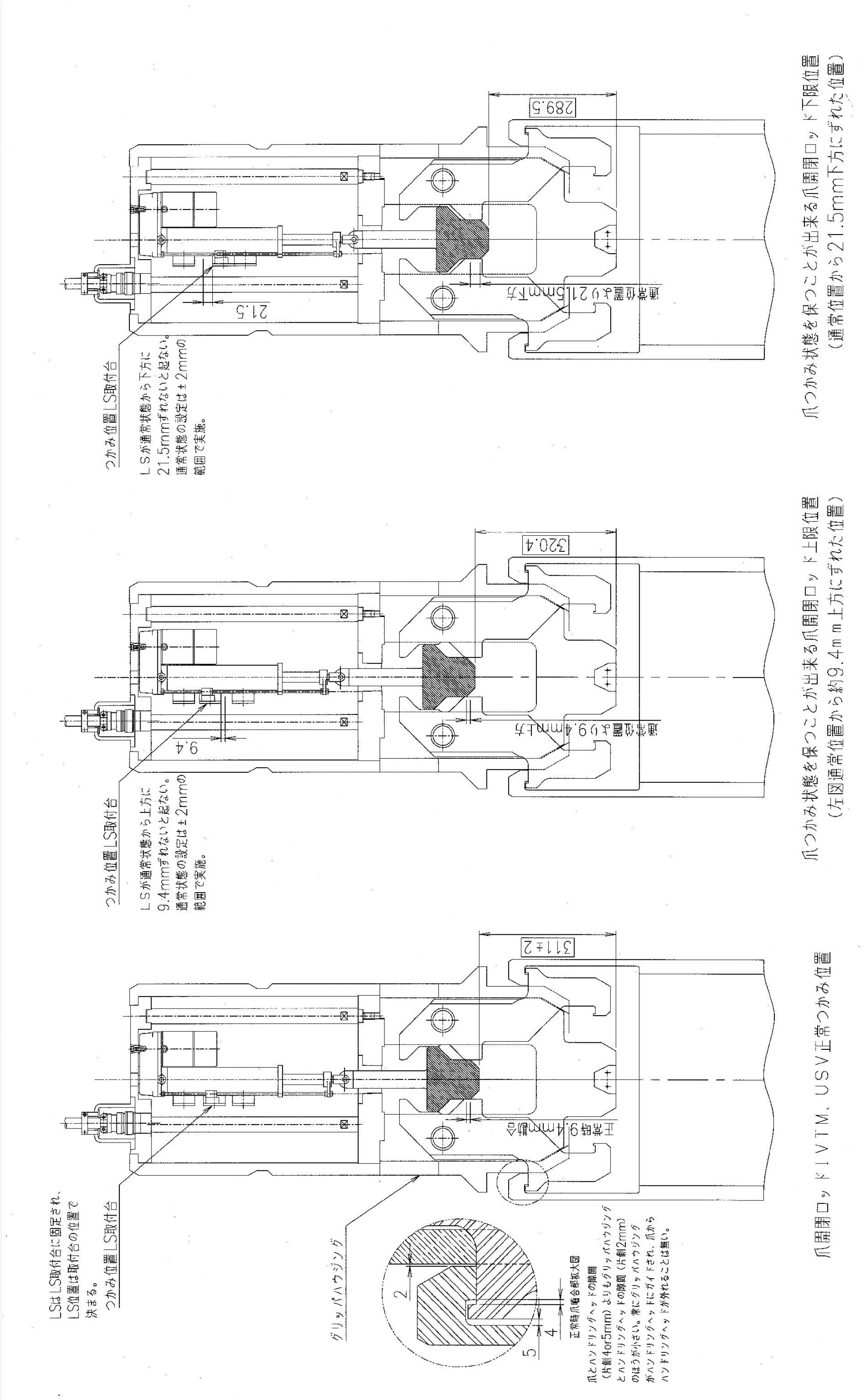
（１） 仮に爪開閉ロッドの位置が、通常位置から上方へずれていった場合、9.4mm 以上ずれた位置を越えると、爪開閉ロッドの下部両サイドストレート部が係合していたグリッパ爪中央突起内側のストレート部から外れてしまい、爪が閉じる方向に動いてつかみ状態を保持できなくなる。

（2） 爪開閉ロッドが通常位置から下方へずれていった場合、21.5mm ずれた位置を超えると、爪開閉ロッド上部両サイドストレート部が係合していたグリッパ爪の上部内側のストレート部から外れてしまい、把持している取扱対象機器を吊り落とすことはないが、爪が開く方向に動いて正常なつかみ状態を保持できなくなる。

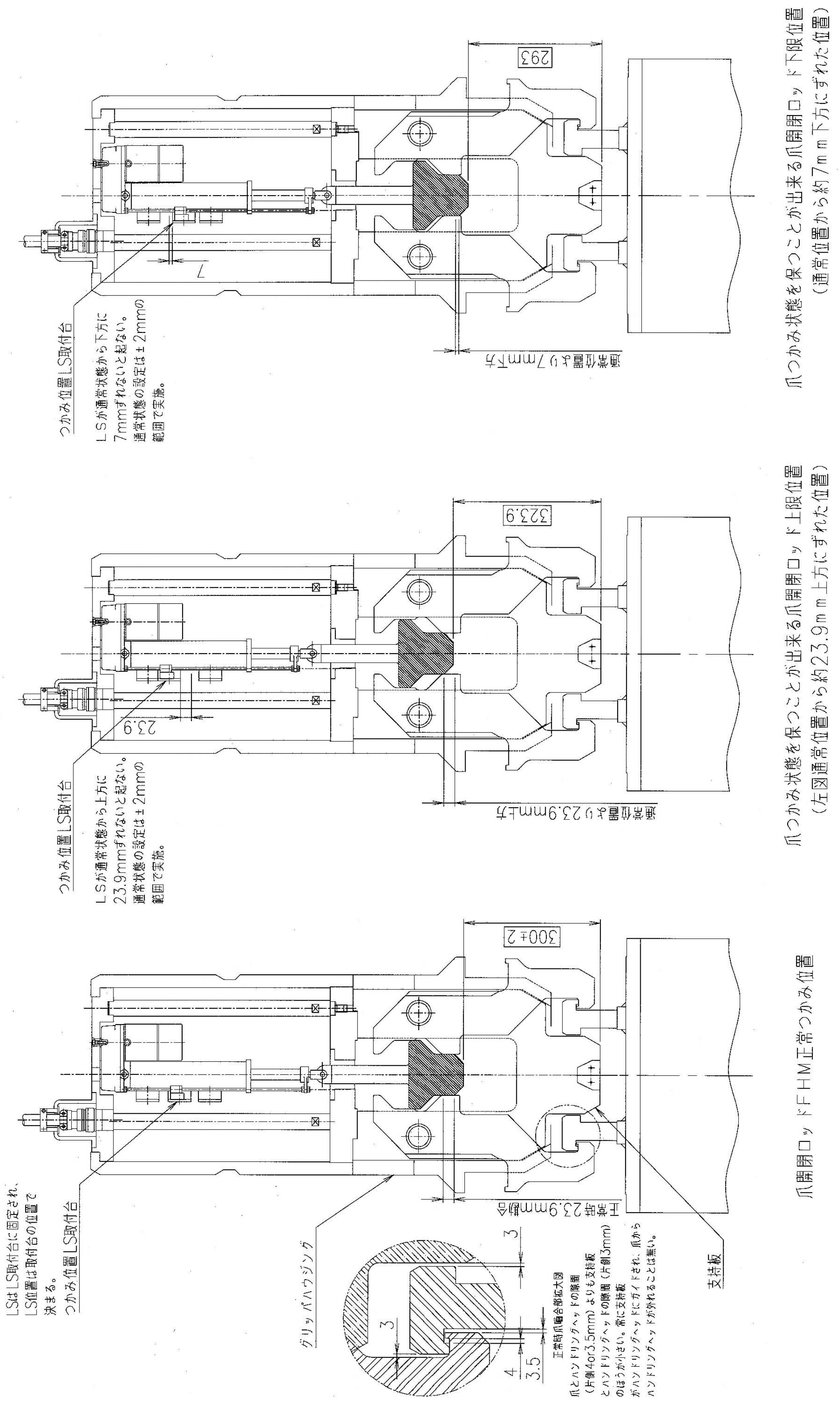
また、グリッパ爪が正常なつかみ状態にある場合は、別図−1 の左側部分拡大図に示す通り、常にグリッパハウジング側面がハンドリングヘッド内径にガイドされるため、幾何学的にグリッパ爪からハンドリングヘッドが外れることはない。

FHM本体取り扱う場合の同様の説明図を別図−2 に示す。FHM取り扱いの場合は、グリッパ爪が正常なつかみ状態を保持できる爪開閉ロッドの範囲は、正規位置から上方 23.9mm、下方 7mm である。別図−2 の左側拡大図に示す通り、グリッパ爪が正常なつかみ状態にある場合は、常に支持板先端両側面がハンドリング

ヘッド内側にガイドされるため、グリッパ爪からハンドリングヘッドが外れることはない。




別図−1　爪開閉ロッド動作説明図（IVTM本体、USV本体取扱い時）




別図-2　爪開閉ロッド動作説明図（FHM本体取扱い時）

別紙2

# グリッパ爪の構造信頼性評価

## 1. 概要

AHMグリッパは、その取扱対象機器(内つかみ:IVTM本体、USV本体、外つかみ:FHM本体)に対する脱着機能を爪開閉ロッドの上下動作による制御により担っており、また、取扱対象機器の保持機能については、グリッパ爪による単一部品で取り合う構成としている。

本紙では、AHMグリッパ爪における単一故障を想定した上で、AHMグリッパ爪の構造信頼性を評価することによって、取扱対象機器を落下させない設計となっていることを示す。

## 2. グリッパ爪における単一故障の想定

AHMグリッパの構造設計において、取扱対象機器の落下につながる恐れのある単一故障を以下に想定する。

- 爪開閉ロッド変形 (爪開閉ロッドの機能喪失)
- グリッパ爪の引っかかり部の破損 (爪の機能喪失)
- 爪支持ピンの破損 (爪の機能喪失)

## 3. グリッパ爪の単一故障における機能の保持

### (1) 爪開閉ロッド機能が喪失した場合

AHMのグリッパ爪は、先端部を直角に上方に屈曲させたフック付きとし、取扱対象機器のハンドリングヘッドにもこれに嵌合する溝を設けることにより、吊り上げて取扱対象機器の自重が作用した際、幾何学的に爪が外れない方式としている(セルフロック方式)。

仮に、爪開閉ロッドの機能が喪失したと仮定した場合、2本のグリッパ爪は爪支持ピンを中心として自由に回転できる。図-1にIVTM本体及びUSV本体取扱時のその時の状態を示す。図-1左側の図は、グリッパ中心とハンドリングヘッド中心とが一致しているノミナル位置での状態である。図中の拡大図に示す通り、グリッパ爪はハンドリングヘッド溝に2点で接触しており、取扱対象機器の自重が下向きに作用していることから、外れ落下することはない。

また、図-1右側の図はグリッパ中心とハンドリングヘッド中心とが互いのギャップ分だけ最大に片寄った場合の状態を示している。それぞれの拡大図で示す通り、右側のグリッパ爪も、左側のグリッパ爪もハンドリングヘッドに2点で接触しており、取扱対象機器の自重が下向きに作用していることから外れることはない。なお、図-3に示す通り、グリッパハウジング外筒がIVTM本体ハンドリングヘッド内径に嵌まっているため、片側ギャップ2mm以上水平方向へずれることはない。

図-2にFHM本体取扱時の状態を示す。IVTM本体取扱時と同様に、ノミナ

ル位置まで片寄った場合でもグリッパ爪はハンドリングヘッドに2点で接触しており、下向きにFHM本体荷重が作用していることから外れることはない。なお、グリッパハウジング下部先端がFHM本体ハンドリングヘッド内側に嵌まっているため、片側ギャップ3mm以上水平方向へずれることはない。

(2) グリッパ爪1本の機能が喪失した場合

グリッパ爪1本が喪失した場合の状態を表したものを図－3に示す。上記(1)項で説明したのと同様に、グリッパ爪はハンドリングヘッドに2点で接触しており、IVTM本体の荷重が下向きに作用していることに加え、爪開閉ロッドとの係合部での反力が水平方向に作用しグリッパ爪を固定している。また、グリッパハウジング外筒がIVTM本体のハンドリングヘッド内径に嵌まっているため、片側ギャップ2mm以上水平方向へずれることはない。従って、グリッパ爪1本の機能が失われてもセルフロック機構が作用するため、取扱対象機器がグリッパ爪から外れることはない。また、下表に示す通り、グリッパ爪1本でも取扱対象機器の吊り荷重に対して十分な強度を有しているため、取扱対象機器が落下することはない。

グリッパ爪1本での評価結果を以下に示す。

（計算値は、AHM構造設計計算書での発生応力値を2倍にした値）

| | | 外つかみ爪 | | 内つかみ爪 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 単位は N./mm2 | | 計算値 | 許容応力 | 計算値 | 許容応力 |
| 引張応力 | | 10 | 137 | 8 | 137 |
| 曲げ応力 | 縦方向 | 67 | 137 | 63 | 137 |
| | 横方向 | 47 | 137 | 55 | 137 |

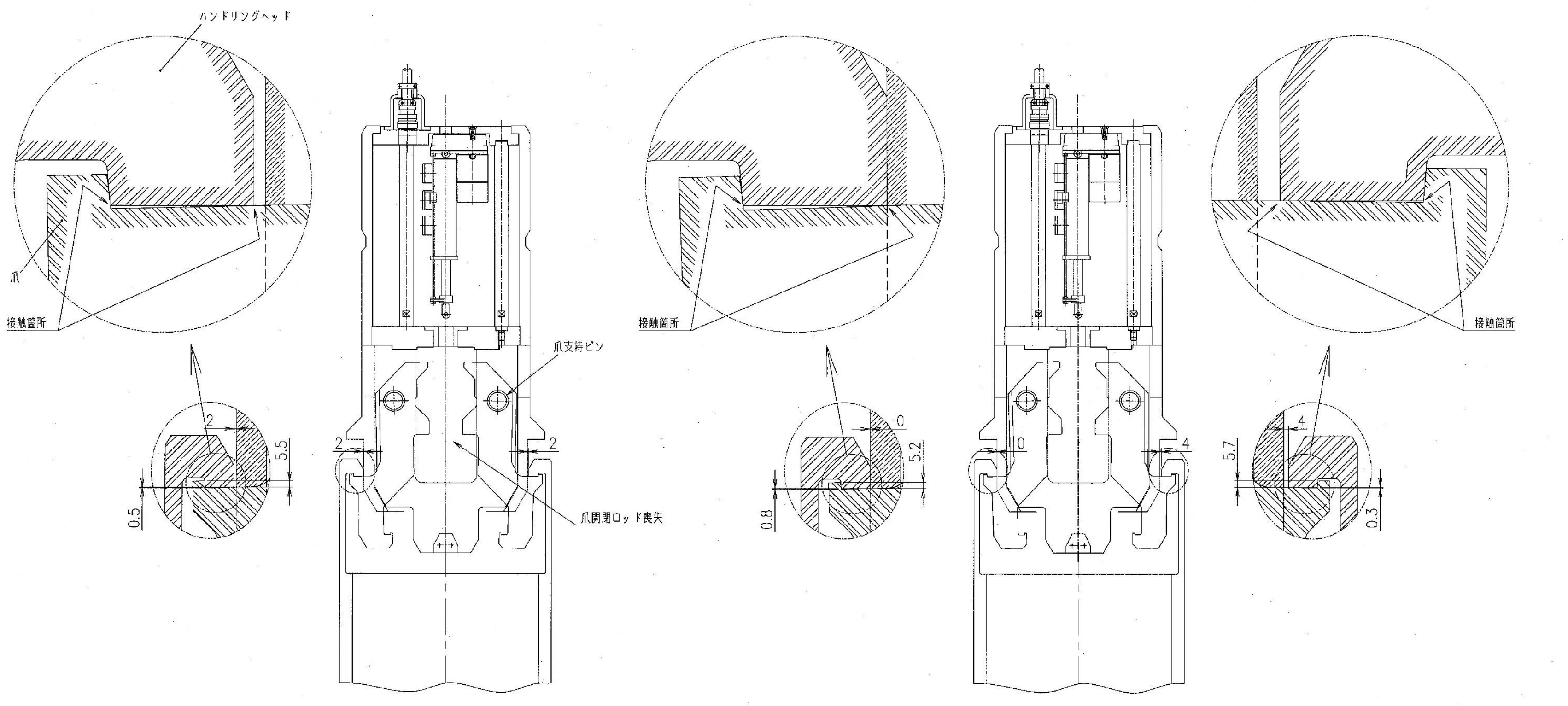
(3) 爪開閉ロッドとグリッパ爪1本の機能が同時に喪失した場合

上記(1),(2)項で説明した通り、グリッパ爪が1本の場合でもグリッパ爪はハンドリングヘッドに2点で接触するので、IVTM本体の荷重が下向きに作用していることからセルフロック機構が機能している。また、グリッパハウジング外筒がIVTM本体ハンドリングヘッド内径に嵌まっているため、片側ギャップ2mm以上水平方向へずれることはなく、グリッパ爪がハンドリングヘッド溝から外れることはない。従って、爪開閉ロッドとグリッパ爪1本の機能が同時に喪失した場合でも、取扱対象機器を落下させることはない。

## 3. まとめ

上述した通り、グリッパ爪は一旦嵌合すれば、爪開閉ロッドの機能が喪失しても、グリッパ爪1本の機能が喪失してもセルフロック方式が作用し、取扱対象機器を落下させない設計となっている。

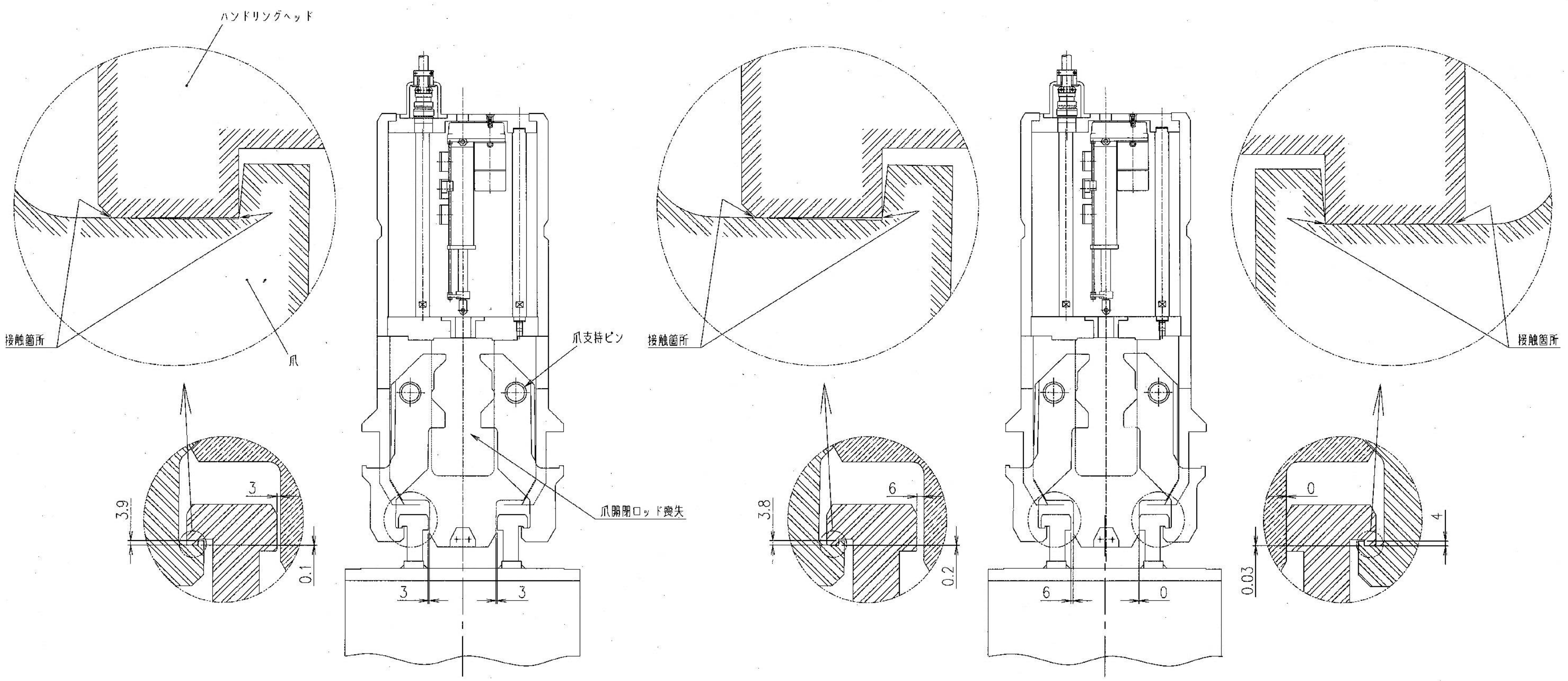
BWR燃料交換装置には一旦燃料をつかんだ後に外れないようにするメカニカルロック機構が装備されているが、AHMグリッパのフック付きグリッパ爪とハンドリングヘッドとによるセルフロック方式は、これと同じ機能を持つものである。




グリッパ中心とハンドリングヘッド中心が一致している場合（ノミナル位置）

グリッパ中心とハンドリングヘッド中心との最大片寄り位置

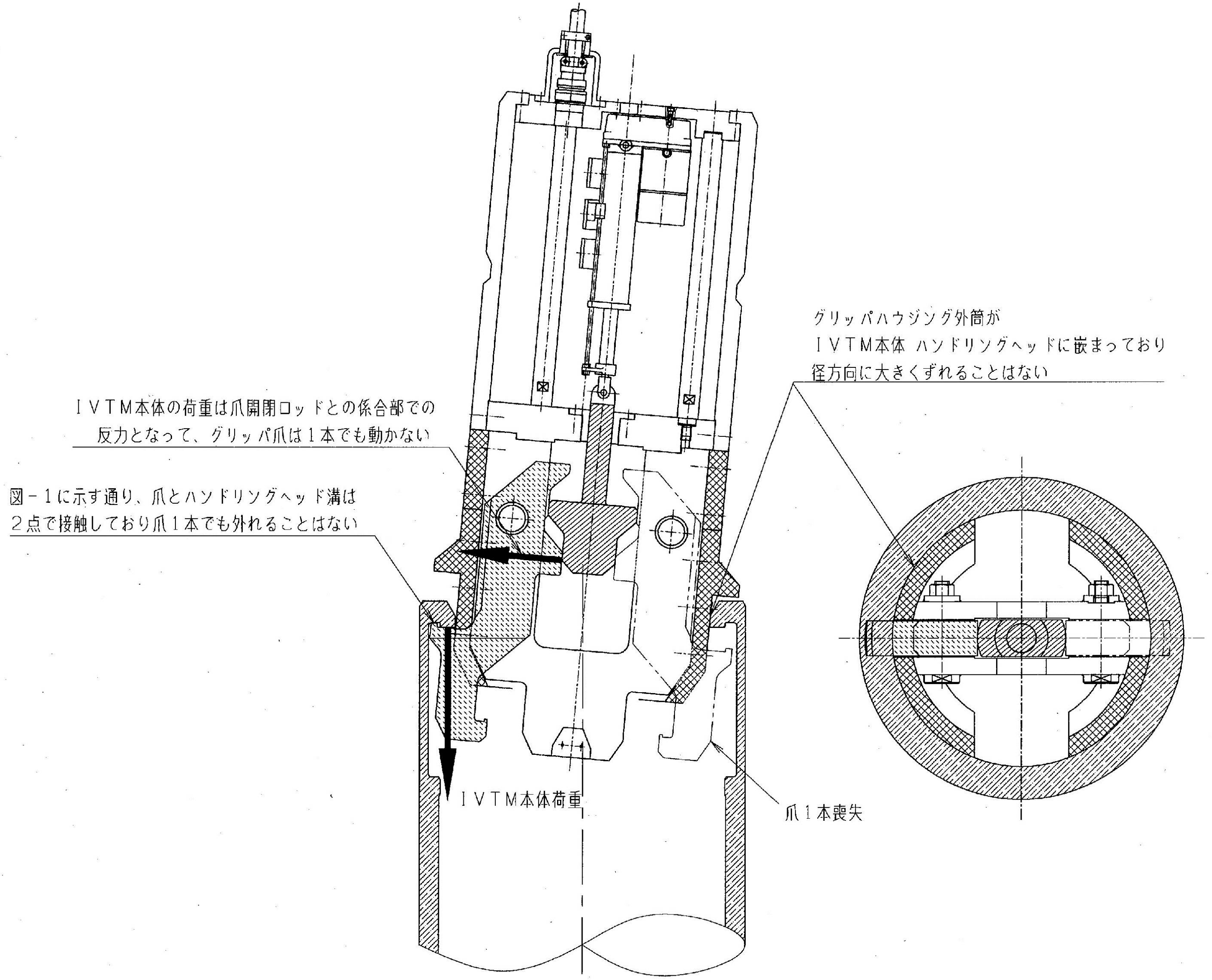
図－1 爪開閉ロッドの機能が喪失した場合（IVTM、USV取扱時）




グリッパ中心とハンドリングヘッド中心が一致している場合（ノミナル位置）

グリッパ中心とハンドリングヘッド中心との最大片寄り位置

図－2 爪開閉ロッドの機能が喪失した場合（FHM取扱時）




図－３取扱対象機器　片吊り保持状態（ＩＶＴＭ、ＵＳＶ取扱時）

# 添付資料-11-3:設計及び製作の時系列及び調査結果

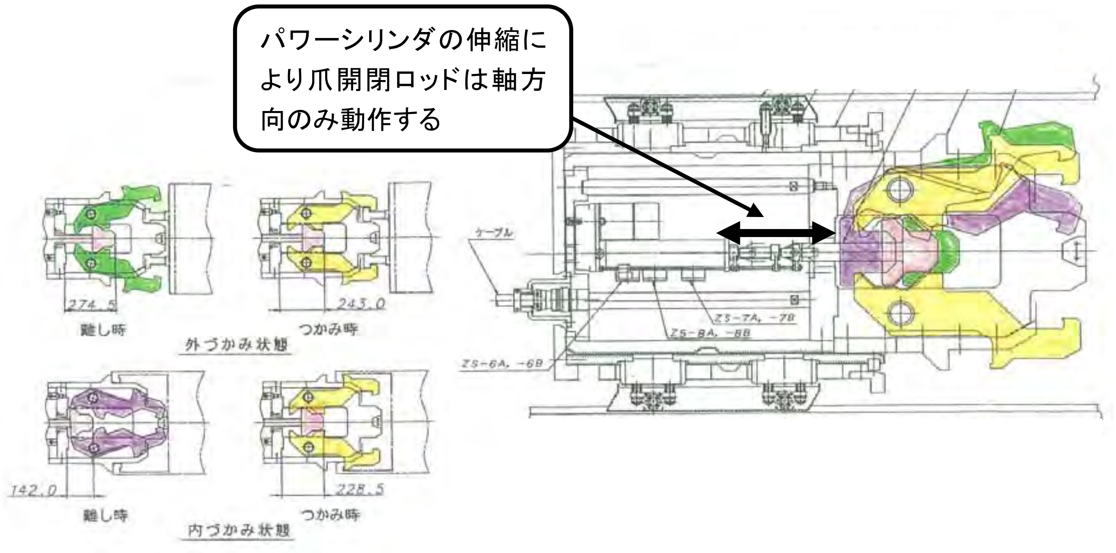
| 時期 | 区分 | 実施内容 | 落下事象後の文書調査及び聞取り調査 結果 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 原子力機構 | AHM製作メーカ |
| 1980年頃<br>(昭和55年) | 基本設計段階(製作準備設計期間) | AHMの基本設計開始 | 【聞取り】もんじゅ実機の正式引合を開始。 | 【聞取り】AHM(当時はメンテナンスキャスク)の見積り段階で、製作準備設計を開始。 |
| 1983年頃<br>(昭和58年) | | AHM合理化案の決定<br>(取扱対象機器であるFHM本体、IVTM本体、USV本体を同一キャスクで取扱うこと) | 【聞取り】AHMの合理化案 受領・承諾<br>AHMの合理化案受領後、内容検討を経て、承諾した。 | 【聞取り】AHM(当時はメンテナンスキャスク)の合理化案として、取扱対象機器を同一キャスクで3種類取扱うことを提案。 |
| | | AHM製作メーカにて、「常陽」での使用実績を参考に、AHMグリッパの形状を考案(セルフロック方式、パワーシリンダ内蔵型)<br>※構想のみで製図は無い | 【聞取り】適宜、AHM製作メーカと基本設計、取合調整等の打合せを実施。<br>グリッパの内部構造に関して打合せは実施されていない。 | 【聞取り】設計部門は、2本のグリッパ爪を正確に左右対称で動作させるため、爪開閉ロッドの形状は円柱を考案した。グリッパ爪の形状は、取扱対象機器のハンドリングヘッド形状から考案した。パワーシリンダと爪開閉ロッドとの接合部について、ねじ構造などの具体的な構造は考えていなかった。 |
| 1986年頃<br>(昭和61年) | | AHM製作メーカにて、パワーシリンダの妥当性を検討 | | 【聞取り】設計部門は、パワーシリンダの推力に余裕を持たせるため、爪開閉ロッドを軽くする目的で形状を検討した。<br>パワーシリンダはFHMのものと同様のものを採用することを検討した。 |
| 1987年頃<br>(昭和62年) | | AHM製作メーカにて、グリッパ爪と接触しない方向の円弧部を無くした爪開閉ロッドの平板構造モデルを検討<br>AHM製作メーカにて、設計時のデザインレビュー実施 | | 【聞取り】設計部門は、厚紙により平板構造モデルを試作し動作を確認した。また、爪開閉ロッドは軸方向の駆動のみであり、回転トルクは加わらないと考えた。<br>デザインレビューでは、爪開閉ロッドが回らない理由及び90° 回転した場合のリスクに関して審議されていない。 |
| 1987年3月<br>(昭和62年) | | AHM製作の契約締結 | 【文書】高速増殖炉「もんじゅ発電所」(第3次追加発注分)契約書<br>発注仕様書により、AHMの機能要求を提示。 | 【文書】高速増殖炉「もんじゅ発電所」(第3次追加発注分)契約書<br>契約仕様書にて、提示された機能要求を承諾。 |
| 1987年7月<br>(昭和62年) | | AHM機器設計仕様書 発行 | 【文書】機器設計仕様書 受領・承認<br>受領後、記載内容を確認し、内容コメント及びその回答受領等を経て、承認した。<br>機器設計仕様書には、AHMグリッパの詳細な構造について記載がなく、AHMグリッパの内部構造に関する質問等の記録はない。 | 【文書】機器設計仕様書 作成・提出<br>AHM内部のグリッパが、ワイヤロープ及び巻上装置で対象物を収容する機能を有していることが記載されている。グリッパの内部構造に関する記載はなく、パワーシリンダと爪開閉ロッドの接合部は記載されていない。<br>吊り・不吊り判定の機能条件として、「取扱対象機器の吊り、不吊りを検出する機能を有すること。」を記載。 |
| 1988年頃<br>(昭和63年) | 詳細設計段階 | 吊り・不吊り判定方式の決定 | ー | 【聞取り】設計部門は、吊り・不吊り判定は取扱対象機器の重量が大きく、摩擦等の荷重変化幅の影響は少ないとして、吊り上げ後の絶対荷重値で判定する方式を決定した。<br>グリッパ爪が正常に開かず、取扱対象機器が正常に吊れなくなることの想定はしていなかった。 |

| 時期 | 区分 | 実施内容 | 落下事象後の文書調査及び聞取り調査 結果 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 原子力機構 | AHM製作メーカ |
| 1988年頃<br>（昭和63年） | 詳細設計段階 | AHM製作メーカにて、製作前デザインレビュー実施 | － | 【聞取り】設計部門は、次の理由により、爪開閉ロッドは回らないと考えていた。<br>爪開閉ロッドが回らない理由及び90°回転した場合のリスクに関してデザインレビューで審議された記録はない。<br>a)爪開閉ロッドの動作は軸方向のみ。<br>b)爪開閉ロッドの円筒部には無負荷でも常に2つの爪の荷重が加わり、爪開閉ロッドを挟む。<br>c)移送中等、AHMを横倒しにした場合、爪開閉ロッドの爪の荷重は加わらないが、爪開閉ロッドは自重によりガイドブッシュにて支えられる。 |
| 1988年11月<br>（昭和63年） | | AHM（グリッパ含む）機器製作方案　発行<br>パワーシリンダは、購入品（一般汎用品）とすることを決定 | 【文書】機器製作方案　受領・承認<br>受領後、記載内容を確認し、内容コメント及びその回答受領等を経て、承認した。<br>パワーシリンダによって爪開閉ロッドを駆動する方式と認識した。<br>機器製作方案には、パワーシリンダと爪開閉ロッドの接合部の詳細な構造が記載されていなかったため、連結に関する質問等の記録はない。 | 【文書】機器製作方案　作成・提出<br>パワーシリンダは購入品（一般汎用品）を使用すること及び爪開閉ロッドはAHM製作メーカにて加工して製作することが記載されている。<br>パワーシリンダと爪開閉ロッドの接合部についての記載はない。<br><br>【聞取り】パワーシリンダ製作メーカからAHM製作メーカに提出されたパワーシリンダのカタログ図面には、U字金具が記載されているが、ねじ構造であることは記載されていなかった。したがって、U字金具部分はパワーシリンダと一体物での購入品であったため、AHM製作メーカは、パワーシリンダ本体とU字金具との接合部がねじ構造であることを認識していなかった。 |
| 1988年頃<br>（昭和63年） | | AHM製作メーカにて、パワーシリンダ購入契約 | － | 【聞取り】設計部門は、AHMグリッパの空間の制約から収納できる最大のパワーシリンダを選定し、パワーシリンダメーカに購入依頼を実施。 |
| 1989年頃<br>（平成元年） | | AHM製作メーカにて、吊り・不吊り判定に係る制御ロジックを決定 | － | 【聞取り】設計部門は、社内検討用として、取扱対象機器を吊上げ後、吊り・不吊りを絶対荷重で判定する制御ロジックを決定した。 |
| 1989年頃<br>（平成元年） | | AHM製作メーカにて、パワーシリンダ受入れ<br>パワーシリンダのU字金具連結部がねじ構造であることを認識 | － | 【聞取り】設計部門は、納入されたパワーシリンダ及びパワーシリンダの取扱説明書により、U字金具連結部がねじ構造であることを認識した。次の理由により、パワーシリンダ製造メーカ標準の構造で使用に問題ないと判断し採用した。なお、デザインレビューで審議された記録はない。<br>①ねじ部緩み止めの抵抗として、パワーシリンダ製作メーカ標準のゴムワッシャがついている。（トルク及びゴムワッシャーの抵抗力等は計算していない）<br>②ゴムワッシャーの材質はニトリルゴムであり、一般産業品として温度及び耐久性に優れている。<br><br>【聞取り】設計部門は、パワーシリンダの取扱説明書の回転への注意書きは、ロープ等の「より」に対するものであり、爪開閉ロッドの動作とは関係ないと判断した。 |

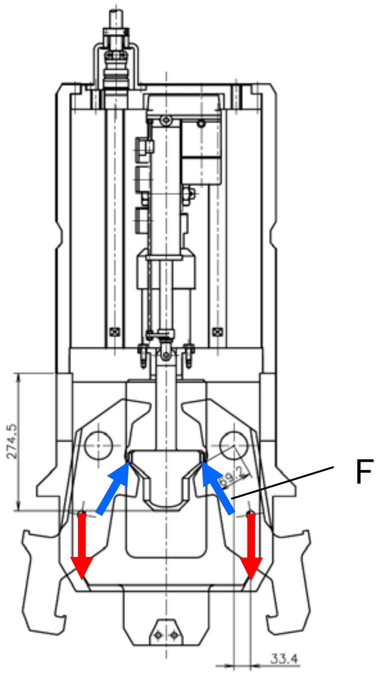
| 時期 | 区分 | 実施内容 | 落下事象後の文書調査及び聞取り調査 結果 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 原子力機構 | AHM製作メーカ |
| 1989年6月<br>（平成元年） | 詳細設計段階 | AHMグリッパ構造図　発行 | 【文書】AHMグリッパ構造図　受領<br>爪開閉ロッドが平板形状であることを認識。 | 【文書】AHMグリッパ構造図　作成・提出<br>爪開閉ロッドが平板形状であることが記載されている。<br>爪開閉ロッドと一般汎用品のパワーシリンダ本体の構成部品であるU字金具との接合部の詳細（ねじ構造）についての記載はない。 |
| 1989年頃<br>（平成元年） | 製作・据付段階 | AHM製作メーカ工場にて、AHM製作開始 | ー<br><br>【現物調査】製作時に取付けられたパワーシリンダを調査したところ、U字金具ねじの締め付けは約1.99mm（取付角度約573°）であり、強く締め込まれ、ねじ緩み止め接着剤が塗布されていたことから、AHM製作・組立て時期に施されたと推定される。 | 【聞取り】設計部門の意図は、図面により機器製作部門へ指示する。<br>指示図面にU字金具ねじの締付について、記載はない。<br><br>【聞取り】機器製作部門は、設計部門からU字金具ねじ部への緩み止め接着剤の塗布について指示は無かったものの、U字金具ねじ部への緩み止め防止の一般的な処置として、設計部門と相談し、緩み止め接着剤を塗布した。なお、緩み止め接着剤の塗布について記録することは無かった。 |
| 1990年4月<br>（平成2年） | | AHM製作メーカ工場におけるAHM単体機能試験実施（FHMの昇降含む） | 【文書】単体機能試験記録<br>立会検査実施。 | 【聞取り】設計部門は、機能試験及び外観検査に問題なかったことから、AHMグリッパの設計に問題はないと判断した。 |
| 1990年10月<br>（平成2年） | | AHM海上輸送（工場→もんじゅ） | 【文書】AHM輸送要領書　受領 | 【文書】AHM輸送要領書　作成・提出 |
| 1991年1月<br>（平成3年） | | もんじゅにおいてAHM単体機能試験実施 | 【文書】単体機能試験記録<br>立会検査実施。 | 【文書】単体機能試験報告書　作成・提出 |
| 1991年4月<br>（平成3年） | | AHMグリッパ構造図　発行<br><br>AHM製造メーカによるAHM「グリッパ構造図 承認条件書」への回答 | 【文書】AHMグリッパ構造図　受領・承認<br>受領後、記載内容を確認し、内容コメント及びその回答受領等を経て、承認した。<br><br>【文書】AHMグリッパ構造図　承認条件書　提示<br>担当者から「構造物（ボルト・ナット等）の落下防止策について説明のこと。」とコメントが記載されている。コメントを出した時期は不明（日付けが不鮮明で判明できない）。 | 【文書】グリッパ構造図　作成・提出<br>爪開閉ロッドが平板形状であることが記載されている。<br>パワーシリンダと爪開閉ロッドの接合部にねじが使用されていることの記載はない。<br><br>【文書】承認条件書への回答　作成・提出<br>設計部門から「ボルト・ナット等の落下防止策は、ボルトについてはロッキングワイヤ又はロックタイトで、ピンについては抜け止めポンチを打っています。」との回答が記載されている。 |
| 1991年4月<br>（平成3年） | | AHM取扱説明書　発行 | 【文書】AHM取扱説明書　受領<br>パワーシリンダに対する質問等の記録はない。<br>U字金具がねじで接合されていることを認識。 | 【文書】AHM取扱説明書　作成・提出<br>添付資料にパワーシリンダ取扱説明書があり、U字金具がねじで接合されていることが記載されている。 |

## 添付資料-11-4 ： 爪開閉ロッドに回転トルクが発生しないと考えた理由

AHM詳細設計当時においてAHM製作メーカが爪開閉ロッドに回転トルクが発生しないと考えた理由について、聞き取り調査の結果に基づき、整理した結果を以下に示す。



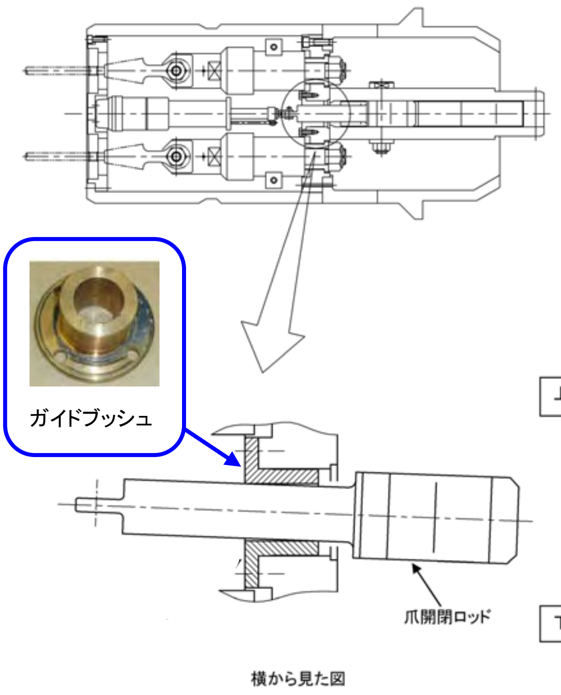

① 爪開閉ロッドの動作は軸方向のみ




爪開閉ロッドにかかる荷重 F＝95N

（爪質量：20kg）

② 無負荷でも爪開閉ロッドには常に２本のグリッパ爪の荷重が加わり、爪開閉ロッドを挟む。




③AHM を横倒しにした場合、爪開閉ロッドにグリッパ爪の荷重は加わらないが、爪開閉ロッドの自重によりガイドブッシュにて支えられる。

## 添付資料-11-5：AHMの使用実績及び点検実績の調査結果

【平成15年までの実績】

| 回数 | 年月 | | 取扱対象物 | 取扱対象物の<br>据付／取外 | 実施目的 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1991年<br>（H3） | 7月 | USV本体 | 据付 | 燃料交換設備大気中炉内燃料移送試験（その2）<br>(SKS-510-Air-1) |
| 2 | | | IVTM本体 | 据付 | |
| 3 | | | FHM本体 | 据付 | |
| 4 | | 9月 | FHM本体 | 取外 | |
| 5 | | | IVTM本体 | 取外 | |
| 6 | | 10月 | USV本体 | 取外 | |
| 7 | 1992年<br>（H4） | 3月 | USV本体 | 据付 | 燃料交換設備ﾅﾄﾘｳﾑ中炉内燃料移送試験（その2）<br>(SKS-510-Na-1) |
| 8 | | | IVTM本体 | 据付 | |
| 9 | | | FHM本体 | 据付 | |
| 10 | | 6月 | FHM本体 | 取外 | |
| 11 | | | IVTM本体 | 取外 | |
| 12 | | | USV本体 | 取外 | |
| （点検） | | 11月 | AHMの機能確認<br>〔グリッパ部の確認〕<br>・爪開閉寸法測定、外観点検(分解は実施していない） | | |
| 13 | 1993年<br>（H5） | 4月 | FMR* | 据付 | 流量計測装置リハーサル試験 |
| 14 | | 5月 | FMR* | 取外 | |
| 15 | | 7月 | IVTM本体 | 据付 | 燃料装荷前準備 |
| 16 | | | FHM本体 | 据付 | |
| 17 | | 11月 | FHM本体 | 取外 | 炉内流量分布試験（1） |
| 18 | | | FMR* | 据付 | |
| 19 | 1994年<br>（H6） | 1月 | FMR* | 取外 | 燃料装荷前準備 |
| 20 | | | FHM本体 | 据付 | |
| 21 | | 9月 | FHM本体 | 取外 | 炉内流量分布試験（2） |
| 22 | | 10月 | IVTM本体 | 取外 | |
| 23 | | | FMR* | 据付 | |
| 24 | | 12月 | FMR* | 取外 | |
| 25 | 1995年<br>（H7） | 1月 | T/Cプラグ* | 据付 | 熱電対プラグ据付 |
| （点検） | 1995<br>～1996年<br>（H7～H8） | 11月<br>～2月 | AHMの開放点検<br>〔グリッパ部の点検〕<br>・上部ハウジング開放点検<br>・爪開閉寸法測定（LS調整前/後） | | |
| （ナトリウム漏えい事故以降、使用の必要が生じるまで休止状態） | | | | | |
| （点検） | 2003年<br>（H15） | 6月<br>～7月 | AHMの開放点検<br>〔グリッパ部の点検〕<br>・上部ハウジング開放点検<br>・パワーシリンダ交換<br>・爪開閉寸法測定（分解前/後） | | |

＊： 性能試験等で使用する計測装置（仮設装置）
FMR：流量計測装置
T/Cプラグ：熱電対プラグ

【平成15年点検以降～現在までの実績】

| 回数 | 年月 | | 取扱対象物 | 取扱対象物の据付／取外 | 実施目的 |
|---|---|---|---|---|---|
| （平成15年の点検以降、未使用） | | | | | |
| （点検） | 2008年（H20） | 1月 | AHM作動確認<br>〔グリッパ部の点検〕<br>・爪開閉作動試験 | | |
| 1 | | 1月 | IVTM本体 | 据付 | 燃料健全性確認に伴う燃料交換装置等の据付け |
| 2 | | | FHM本体 | 据付 | |
| 3 | | 3月 | FHM本体 | 取外 | 燃料健全性確認に伴う燃料交換装置等の取外し |
| 4 | | | IVTM本体 | 取外 | |
| 5 | | 7月 | FHM本体 | 据付 | Na洗浄作業のため |
| 6 | | | IVTM本体 | 据付 | Na洗浄作業のため |
| 7 | | 9月 | IVTM本体 | （収納・もどし） | （燃料交換準備作業中断のため） |
| 8 | 2009年（H21） | 6月 | IVTM本体 | 据付 | 燃料交換準備 |
| 9 | | | FHM本体 | 据付 | |
| 10 | | 7月 | FHM本体 | 取外 | 燃料交換後始末 |
| 11 | | | IVTM本体 | 取外 | |
| 12 | 2010年（H22） | 7月 | IVTM本体 | 据付 | 燃料交換準備 |
| 13 | | 8月 | FHM本体 | 据付 | |
| 14 | | 8月 | FHM本体 | 取外 | 燃料交換後始末 |
| （落下） | | | IVTM本体 | （取外中落下） | |

## 【AHMの使用実績一覧表】

| | | パワーシリンダ交換前（据付～平成15年） | パワーシリンダ交換後（平成15年～） |
|---|---|---|---|
| AHMつかみ・はなし回数* | IVTM本体 | 6 | 7 |
| | FHM本体 | 8 | 7 |
| | USV本体 | 4 | 0 |
| | その他（FMRなど） | 7 | 0 |
| | トータル | 25 | 14 |

*1　つかみ・はなしの一連の動作を1回とカウント

添付資料−11−6 ： AHMグリッパの保守管理の調査結果

1．点検頻度の考え方

AHMの点検頻度は、平成3年から平成7年までの使用実績及び平成7年の点検結果を基に決めている。具体的には、当該期間中で累計 25 回の使用実績があり、これは燃料交換6回分（燃料交換1回当たり、FHM本体、IVTM本体の据付け、取り外しで計4回AHMを使用）の使用に相当する。AHMの点検頻度を計画するにあたっては、過去の使用実績（燃料交換6回分相当）を基に、保守的に燃料交換4回分（AHMの使用としては16回分）の使用ごとに点検することとした。

また、平成 21 年 1 月の保全計画導入時においても、上記の考え方に基づき、AHMの点検は、燃料交換4回分に相当する期間として点検頻度を定めた。

2．AHMグリッパの保守管理の調査

U字金具ねじの締付管理について、AHMが現地に搬入された平成2年以降に実施した4回の点検実績を対象として、原子力機構に提出された図書により、保守管理の状況を調査した。4回の点検項目を表−1に示す。

(1) 設計から保守・点検への引継ぎ

① AHM製作メーカより、AHM製造・納入後に原子力機構に提出された「原子炉機器輸送ケーシング取扱説明書」の保修要領に、設計を踏まえたAHMの保守・点検が記載されており、AHMグリッパの点検項目に「ボルトの緩み確認」、点検時の保守・調整に「緩みがあった場合は所定のトルクで増し締めください。」と記載があり、トルク管理のボルトが対象とされている。また、添付資料のトルク管理を行うボルト仕様一覧表に、U字金具ねじは記載されていない。

IVTM落下後にAHM製作メーカへの聞き取りにより、取扱説明書に記載されていない理由を調査した結果、AHM製作メーカは、パワーシリンダのU字金具にねじが使用されているが、初期設計段階において、「爪開閉ロッドに回転トルクは発生しない」ためU字金具のねじは回転しないと考えており、トルク管理の対象としていないことから、取扱説明書の保修要領に点検対象として設定していなかった。

② AHMの保守・点検計画は、AHM製作メーカが提出した取扱説明書の保修要領に記載されている点検項目から、点検時期の条件（使用実績、前回点検結果及び点検工程等）を勘案して策定している。しかし、U字金具のねじは、取扱説明書において点検対象になっていないため、保守・点検計画の点検項目に上げられていなかった。

(2) 保守・点検実績

AHMが現地に搬入された平成2年以降に、原子力機構はAHM製作メーカに4回の点検を発注している。点検受注者としてAHM製作メーカが実施した 4 回

（平成 4 年、平成 7 年、平成 15 年及び平成 20 年）の点検について、保守点検要領書及び保守点検報告書により、U字金具のねじの締付管理を調査した結果、U字金具のねじの点検は、設計当初よりU字金具のねじの緩みに着目していなかったことから、点検対象とならず点検が行われていなかった。また、平成 7 年、平成 15 年の点検では、AHMのグリッパハウジングを開放し、パワーシリンダを目視確認できる状態にあったが、U字金具締付けに関する記録等はなかった。AHMのグリッパハウジングを図−1 に示す。

① 平成 4 年の点検

点検受注者は、U字金具のねじ締付け状態を点検していない。

② 平成 7 年の点検

グリッパハウジングを開放し、内部点検を行っている。点検項目として締結部品の緩みのない事が点検項目に上がっており、異常無しの記録があるが、点検受注者への聞き取り調査の結果、点検対象はパワーシリンダ自体の固定部の締結部であり、U字金具のねじは点検対象ではなかった。

③ 平成 15 年の点検

点検受注者は、グリッパハウジングを開放して内部点検を行い、パワーシリンダを交換している。パワーシリンダ交換前後で、グリッパ爪の開閉寸法に相違がないことを測定しているが、点検受注者が提出した保守点検報告書にU字金具のねじ締付状態を確認した記録はない。

④ 平成 20 年の点検

点検受注者は、U字金具のねじ締付け状態を点検していない。

なお、AHMの分解点検については、盤の更新計画に合わせ、平成 22 年度の燃料交換後に実施する計画としていた。

(3) 保守管理の調査結果

調査の結果、設計の段階から爪開閉ロッド及びパワーシリンダのU字金具のねじが回転することは無いと考えていたため、取扱説明書の保修要領に保守管理の対象としてU字金具のねじ及びねじの締付けは記載されなかった。

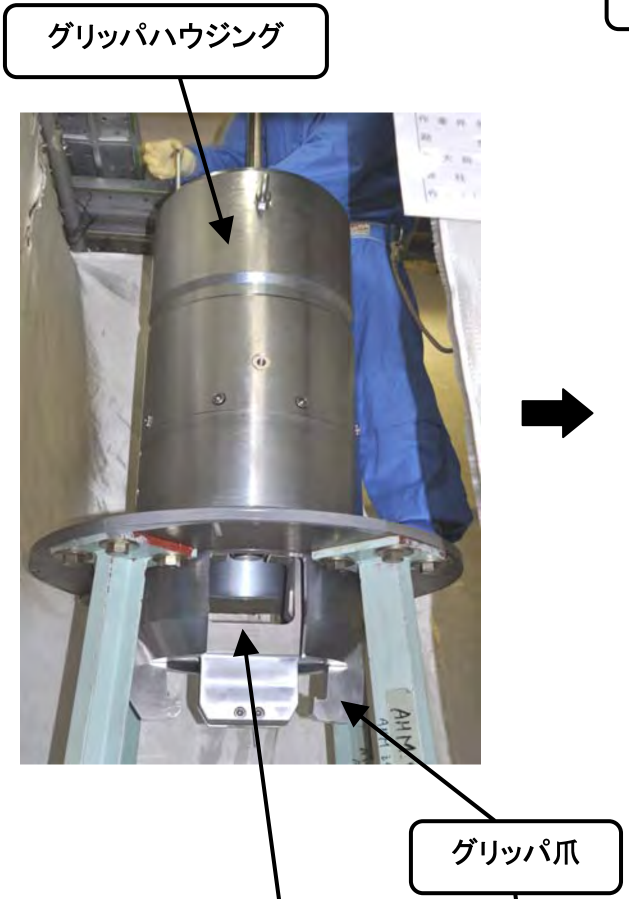
したがって、AHMの保守・点検計画では、U字金具のねじについて保守・点検計画の点検項目に上げられていなかった。

また、U字金具のねじの点検は、取扱説明書の保守管理対象になっていないことから、パワーシリンダを格納しているグリッパハウジング開放して内部点検を実施した平成7年、平成 15 年の点検においても、U字金具のねじに着目した点検は行われず、過去 4 回のAHM点検において、U字金具のねじの締付状態についての記録はなかった。

## 表-1　AHMグリッパの保守点検内容

| No. | 項　目 | 平成4年 | 平成7年 | 平成15年 | 平成20年 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 点検目的 | 性能試験開始までの間、保管状態となるため、事前に運転操作を行い、運転操作上の機能維持を図る | AHMはNaの付着した機器を取扱うことから構成機器、部品内部へのNa付着状況及び外観状況を確認する | 使用前の点検・調整・作動確認を行い、設備の機能及び信頼性を維持する | 使用前の点検・調整・作動確認を行い、設備の機能及び信頼性を維持する |
| 2 | 作業期間 | 平成4年11月9日～26日 | 平成8年1月22日～2月6日 | 平成15年6月10日～7月4日 | 平成20年1月15日～19日 |
| 3 | 場所 | M/B試験ピット | M/B試験ピット | M/B試験ピット | M/B試験ピット |
| 4 | グリッパ点検項目 | | | | |
| | 動作機能試験 | | ○ | ○ | |
| | 上昇、下降 | | ○ | ○ | |
| | 爪つかみ、はなし | | ○ | ○ | |
| | 上限停止位置測定 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | 引抜終了位置測定 | | ○ | ○ | ○ |
| | 爪開閉寸法測定 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | グリッパハウジング開放 | | ○ | ○ | |
| | 外観点検 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | パワーシリンダ交換 | | | ○ | |
| 5 | U字金具締付記録 | なし | なし | なし | なし |
| | | ハウジング未開放のため目視不可 | 目視可能 | 目視可能 | ハウジング未開放のため目視不可 |

《AHMグリッパ外観》



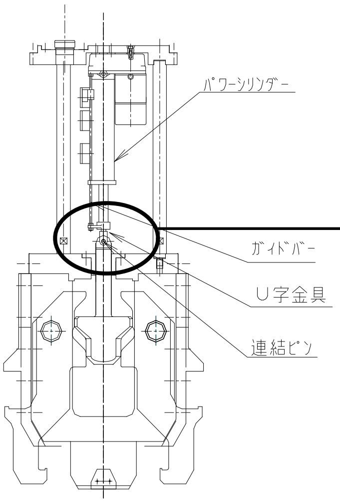

《グリッパハウジング開放状態》

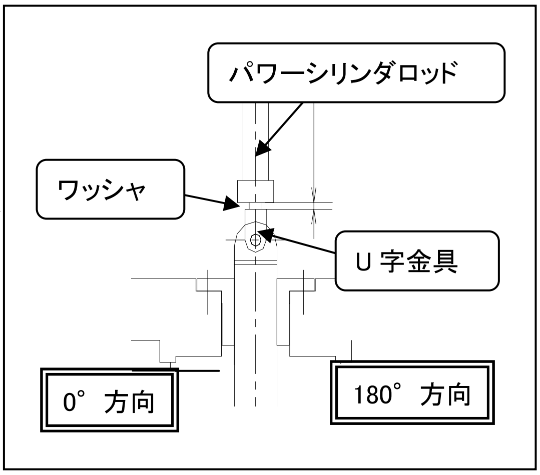
グリッパハウジングを開放しないとパワーシリンダのU字金具部は、確認できない。

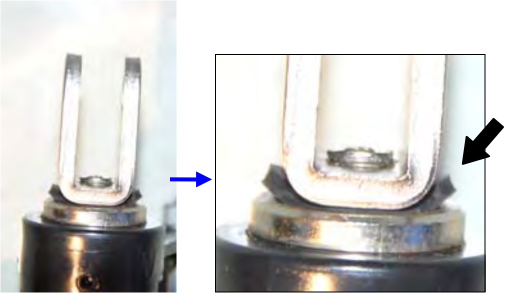
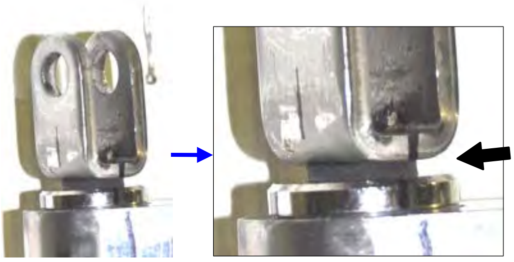
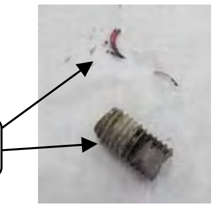
《爪開閉ロッド下部外観》

図−1　AHMグリッパハウジング

## 添付資料-11-7 ： パワーシリンダのロッドとU字金具間の寸法測定




| | 交換前のパワーシリンダ<br>（平成 2 年～平成 15 年） | 交換後のパワーシリンダ<br>（落下事象発生時） |
|---|---|---|
| 隙間外観状態 | <br>ワッシャが締付けで潰れている | <br>ワッシャの厚みと同等の隙間 |
| 寸法測定 | | |
| 結果 | 0° 方向 ： 0.07 ㎜<br>180° 方向 ： 0.07 ㎜ | 0° 方向 ： 2.0 ㎜<br>180° 方向 ： 1.8 ㎜ |
| 締付状態 | 手で廻らない程強く締め付けられており、U字金具のねじには、ねじ緩み止め接着材が塗布されていた。<br>（締付トルク値：15N・m）<br><br>緩み止め接着剤 | 手で軽く廻る程度の締め付け状態であり、U字金具のねじに、ねじ緩み止め接着剤は塗布されていなかった。<br>（締付トルク値：－） |

## 添付資料-11-8：パワーシリンダ交換の時系列及び調査結果

| 時期 | 実施内容 | 落下事象後の文書調査及びAHM製作メーカ調査 結果 | |
|---|---|---|---|
| | | 原子力機構 | AHM製作メーカ |
| 1989年頃<br>（平成元年） | AHM製作メーカ工場にて、AHM製作開始 | ー | 【聞き取り】<br>(1)AHM製作メーカは、設計当初より爪開閉ロッドに回転トルクは発生しないと考えていた。パワーシリンダのU字金具のねじについて、パワーシリンダ製作メーカで実施しているワッシャによる抵抗により、ねじは緩まないと考えていた。<br>(2)U字金具のねじはワッシャにより緩まないと考えていたため、AHM製作メーカの設計部門は、製作部門に対して、緩み止め接着剤の指示を行っていない。<br>(3)AHM製作メーカは、工場での製作において、設計部門では不要と考えていたが、機器製作部門が念のための位置づけで塗布したと推定している。<br>(4)AHM製作時の記録において、U字金具のねじへの緩み止め接着剤の塗布を行った記録はない。<br>(5)AHM製作メーカは、U字金具のねじに行った緩み止め接着剤の塗布は、念のための処置であったことから、製作図書に反映しなかったと推定している。 |
| 2002年3月<br>（平成14年） | AHM点検の契約締結 | 【文書】契約書<br>発注仕様書にて、AHMの点検要求を提示。 | 【文書】契約書<br>契約仕様書にて、提示されたAHMの点検要求を承諾。 |
| 2002年10月<br>（平成14年） | FHM昇降駆動装置の点検 | ー | ー |
| 2002年12月<br>（平成14年） | FHM昇降駆動装置　点検報告書発行 | 【文書】FHM昇降駆動装置保守点検報告書　受領 | 【文書】FHM昇降駆動装置保守点検報告書　作成・提出<br>昇降駆動装置のパワーシリンダの樹脂性部品にひび割れが生じていることが記載されており、水平展開として、同仕様のパワーシリンダが使用されているAHMについても、点検時に対策を講じることが提案されている。 |
| 2002年4月<br>（平成15年） | AHM点検事前打合せ（JAEA及びAHM製作メーカ） | 【聞き取り】<br>原子力機構のAHM保守担当者は、前年度のFHM昇降駆動装置の点検の反映として、AHMのパワーシリンダについて対策することを認識している。 | 【聞き取り】<br>(1)原子力機構とAHM点検に関して打合せを行い、点検時にパワーシリンダを交換する旨を説明している。<br>(2)パワシリンダー交換に当たり、交換用パワーシリンダは材料の一部を樹脂性から金属性に変更することから、変更箇所の強度評価を行っているが、その他の評価は実施していない。 |

| 時期 | 実施内容 | 落下事象後の文書調査及びAHM製作メーカ調査 結果 | |
|---|---|---|---|
| | | 原子力機構 | AHM製作メーカ |
| 2003年6月<br>（平成15年） | AHM点検要領書　発行 | 【文書】AHM保守点検要領書受領・承認<br>　パワーシリンダ交換に対する質問等の記録はない。 | 【文書】AHM保守点検要領書　作成・提出<br>　工事範囲として「AHMグリッパ分解点検・グリッパガイド点検（パワーシリンダ交換含む）」と記載され、点検においてパワーシリンダを交換することが記載されている。また、グリッパ本体分解点検（既設パワーシリンダの取り外し、新しいパワシリンダの取付けを含む）については、AHM製作メーカから原子力機構に記録を提出することが記載されている。<br>【聞き取り】<br>(1)点検着工前に保守部門及び品質保証部門により要領書をレビューしている。要領書の記載内容以上について、議論が行われたか記録にない。<br>(2)H14年度のFHM昇降駆動装置点検でパワーシリンダの樹脂性部品にひび割れが生じていたことから、AHM交換用パワーシリンダは当該部品をステンレス製に材質変更し、変更箇所の強度評価を行っている。その他については評価を行っていない。 |
| 2003年6月<br>（平成15年） | AHM点検、パワーシリンダ交換実施。 | 【文書】取替部品記録<br>　交換後のパワーシリンダ受入時、品名、型式、員数について立会により確認している。 | 【文書】AHM作業手順チェックシート<br>　パワーシリンダの交換を記録している。U字金具ねじ締付の記録はない。<br><br>【聞取り】<br>　パワーシリンダ交換にあたり、AHM製作・組立時の設計図書を確認し、詳細な交換手順を定め、交換要領を作成している。交換要領にU字金具の締め付け状態を確認する項目、U字金具の方位に関する記載はない。<br>　また、AHM製作・組立時の設計図書にU字金具のねじに緩み止め接着剤の塗布の指示が記載されていなかったことから、交換手順に緩み止め接着剤の塗布について記載しなかった。パワーシリンダ製作メーカから納入されたU字金具の状態で据え付け、緩み止め接着剤の塗布、ねじの増し締め等は実施していない。 |
| 2003年7月<br>（平成15年） | AHM保守点検報告書　発行 | 【文書】AHM点検報告書　受領<br>　記録の確認を行っている。 | 【文書】AHM点検報告書　作成・提出<br>　パワーシリンダを交換したことが記載されており、交換前に外観上の異常の有無、現物が仕様のとおりであること等を確認している。また、交換後はグリッパ爪の開閉動作を行い、所定の寸法のとおり爪が開いていることを確認している。 |

# 添付資料-11-9：AHMグリッパの設計、製作・据付、運用に関する問題点と対策

**設計における機能要求事項（落下防止に関するもの）**
・AHMを受渡し設備に据付け、取扱対象機器の着脱、挿入、引抜、保持が行えること。
・AHM内に収納した取扱対象機器を支持・保護すること。
・AHMは、取扱対象機器の収納状態で竪置、起立転倒、横置状態が可能な構造であること。
・取扱対象機器が所定の据付レベルに到達したことを検出する機能を有すること。
・取扱対象機器の吊り、不吊りを検出する機能を有すること。
・巻上装置の過負荷及び取扱対象機器の昇降操作途中での引っ掛かりを検出し、昇降動作を停止する機能を有すること。
・グリッパの誤作動防止のインタロックを有すること。

【安全設計上の要求】
・AHM巻上装置は、電源喪失時にもグリッパの滑落を防止すること。
・インタロックの設置により、グリッパの未着床状態での取扱対象機器の切離し操作を防止すること。
・巻上ワイヤの単一破損による落下を防止すること。

**問題点**
具体的な方式として、取扱対象機器を吊上げた際に幾何学的に爪が外れない方式（セルフロック方式）を採用した。しかし、爪開閉ロッドが約90° 回転したことによりセルフロック方式が機能せず、IVTM本体の落下に至った。

**【本来対処すべき事項】**

1．基本設計段階

・セルフロック方式によるグリッパ爪の離脱防止機能を確保するため、グリッパを構成する機器・部品の形状を損なわない設計方針とする。

・AHM製作メーカは、動力を伝達する重要な接合部について、当該部が機能喪失した場合の影響評価と形状維持対策を検討する。

・機構は、動力を伝達する重要な接合部について容易に機能が喪失しない設計となるよう求め、形状維持対策が検討されていることを確認する。

**【実際の経緯】**

1．基本設計段階

AHM製作メーカは、
・「常陽」での使用実績を参考に、取扱対象機器を吊り上げた際に幾何学的に爪が外れない方式（セルフロック方式）を採用した。
・2本のグリッパ爪を対称に正確に動作させる必要があることから、円柱形状から検討。
・パワーシリンダの推力に余裕を持たせるため 平板形状を採用。
・平板構造モデルを試作し動作を確認したが、爪開閉ロッドは軸方向の駆動のみであり、回転トルクは加わらないと考えた。（幾何学的形状が損なわれないと考えていた。）
原子力機構は、
・落下させないことは求めたが、AHMの基本設計において落下させないことをどのように担保したかやAHMグリッパの幾何学的形状の維持に関する確認はされておらず、記録もなかった。

**【問題点と対策（QMSの改善）】**

1．基本設計段階

・基本設計の前提として、平板形状の爪開閉ロッドの回転を想定していなかった。

・平板形状の爪開閉ロッドが回転した場合、AHMグリッパの幾何学的な形状が維持できず、IVTM本体が正常に吊れなくなることを想定した影響評価を行なわなかった。

・平板形状の爪開閉ロッドに回転トルクは加わらないと考えていたため、爪開閉ロッドの回転防止に係る対策の検討を行わなかった。。

【QMSによる対策（調達管理）】
「動力を伝達する重要な接合部に対し、機能喪失事象を評価し、容易にその機能（幾何学的形状の維持など）を喪失しない設計とする。」ことを満足するよう受注者に要求し、機構は提示された評価結果が適切であるかを設計審査時に確認する。

**【本来対処すべき事項】**

2．詳細設計段階

・AHM製作メーカは、パワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であることを認識した際、グリッパ機構が機能喪失した場合の影響評価を検討する。

・AHM製作メーカは、パワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であることを認識した際、「ねじ構造をやめる」「回り止め措置」などの機能維持対策を検討する。

・機構は、パワーシリンダと爪開閉ロッドとの接続部を構造図で認識した際、パワーシリンダとU字金具との接合部についてねじ構造の有無、機能喪失した場合の評価と機能維持対策が講じられていることを確認する。

・AHM製作メーカは、パワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であることを、構造図に記載する。

・機構は構造図にパワーシリンダと爪開閉ロッドとの接続部についてねじ構造を明記するよう指示する。

**【実際の経緯】**

2．詳細設計段階

AHM製作メーカは、
・パワーシリンダ納入後、U字金具連結部がねじ構造であることを認識。
・グリッパの構造上、爪開閉ロッドに回転トルクは発生しないと考えていた。
・U字金具ねじの緩みに対して、パワーシリンダ製造メーカ標準の構造（ゴムワッシャーによる抵抗力等）で使用上問題なく、通常の締付けで良いと考えた。

・AHM製作メーカから、提出された機器製作方案を機構は内容検討後これを承認した。
・機構は、機器製作方案で、一般汎用品のパワーシリンダによって爪開閉ロッドを駆動する方式と認識。
・構造図では、パワーシリンダと爪開閉ロッドの連結部の詳細な構造が記載されていなかった。

・一般汎用品のパワーシリンダ本体の構成部品であるU字金具との接続部の詳細（ねじ構造）についてAHMグリッパの構造図に記載しなかった。

**【問題点と対策（QMSの改善）】**

2．詳細設計段階

・パワーシリンダ本体とU字金具との接続部がねじ構造であると認識したが、基本設計に立ち戻り、ねじの緩みなどにより平板形状の爪開閉ロッドが回転した場合、IVTM本体が正常に吊れなくことを想定した影響評価を行わず、また、当該ねじ構造について「ねじ構造をやめる」、「回り止め措置」などの形状維持対策の検討を行なわなかった。

【QMSによる対策（設計管理）】
「動力を伝達する接合部（ねじ構造等）は、振動により緩みが発生すると機能が維持できない場合があることから、機能を喪失した場合の影響を評価し必要な機能維持対策を講じる。」ことに留意して設計審査を行う。

・AHMグリッパの幾何学的形状維持に係る接続部（ねじ構造）の詳細が、構造図に記載されなかった。

【QMSによる対策（調達管理）】
「動力を伝達する重要な接合部（ねじ構造等）又は購入品と取合う接合部（ねじ構造等）を構造図等に明記する。」ことを受注者に要求し、機構は設計審査時に確認する。

| 【本来対処すべき事項】 | 【実際の経緯】 | 【問題点と対策(QMSの改善)】 |
|---|---|---|
| 3. 製作・据付段階 | 3. 製作・据付段階 | 3. 製作・据付段階 |
| ・AHM製作メーカは、パワーシリンダのねじ部に緩み止め接着剤を塗布する際に、設計部門は、予め当該部の回り止め対策が緩み止め接着材で妥当かどうか評価し、その情報を機構に提示する。 | ・AHM製作メーカは、工場にてAHMの製作を開始した（平成元年頃）。U字金具ねじ部への緩み止め防止の一般的な処置として緩み止め接着剤を塗布した。 | ・U字金具ねじ部に緩み止め接着剤の塗布した際、設計に立ち戻り、緩み止め接着剤の妥当性、回り止めの必要性について検討されておらず、また、塗布の指示及び塗布したことについて記録に残さなかった。 |
| ・AHM製作メーカは、製作時に緩み止め接着剤を塗布したことについて、記録に残す。 | ・AHM製作メーカは、緩み止め接着剤の塗布について記録することは無かった。 | |
| | | 【QMSによる対策(調達管理)】<br>「受注者は、設計のプロセスや製作のプロセスでの気付き事項等を着実に施工や施工後の検査及び試験の要領書に反映すること。また、これらの情報を提出すること。」を要求する。 |

| 【本来対処すべき事項】 | 【実際の経緯】 | 【問題点と対策(QMSの改善)】 |
|---|---|---|
| 4. 運用（検査、保守）段階 | 4. 運用（検査、保守）段階 | 4. 運用（検査、保守）段階 |
| ・AHM製作メーカは、重大な故障につながる接合部について、締め付け管理の点検対象とする。 | ・AHM製作メーカは、U字金具ねじの緩みに対して、パワーシリンダ製造メーカ標準の構造で使用上問題ないと考えていたことから、締付け管理の対象とは考えていなかった。 | ・AHM製作メーカは、U字金具ねじ部を緩み止め接着剤の塗布及び締付け管理の必要性について認識していなかった。<br><br>【QMSによる対策(調達管理)】<br>「緩みが生じた場合にその機能が喪失、又は重大な故障につながる接合部(ねじ構造等)について組立又は据付け時に回り止め措置や締め付けトルク管理がなされていることを確認すること。」を受注者に要求する。 |
| ・機構は、パワーシリンダと爪開閉ロッドとの接合部について、回り止め措置・締付けトルク確認等が実施されていることを確認する。 | ・ねじの締付け状態の点検は、取扱説明書に記載されている保守管理対象であるねじを対象に実施していた。（パワーシリンダと爪開閉ロッドとの接合部は点検対象となっていなかった） | ・AHMグリッパの幾何学的形状維持に係る連結部（ねじ構造）に対して、回り止め措置、締め付けトルク確認が実施されているかどうかの確認を行なわなかった。<br><br>【QMSによる対策(保守管理)】<br>「緩みにより機能を喪失又は重大な故障につながる接合部（ねじ構造等）については、組立時又は据付時に回り止め措置、締付けトルク確認等を実施すること。」を作業要領書に明記する。 |
| 平成15年ワパワーシリンダ交換作業<br>・機構は、平成15年のパワーシリンダ交換作業の際、グリッパ爪の離脱防止機能に影響を及ぼす可能性のあるパワーシリンダと爪開閉ロッドとの接合部について、回り止め措置・締付けトルク確認等が実施されていることを確認する。 | ・AHM製作メーカは、平成15年のパワーシリンダ交換手順書の作成に当たり、AHM製作・組立て時の設計図書を確認したが、U字金具ねじ部に緩み止め接着剤塗布の指示を示す記載が無かったことから、緩み止め接着剤の塗布について交換手順書に記載しなかった。<br>・交換手順書に基づき、パワーシリンダ製造メーカから購入したパワーシリンダのU字金具の取付け状態のまま据え付け、緩み止め接着剤の塗布、ねじの増し締め等は実施しなかった。 | ・パワーシリンダ交換要領書の作成に当たり、設計図書では緩み止め接着剤塗布の指示を示す記載が無かったことから、緩み止め接着剤の塗布について交換要領書に記載されていなかった。<br><br>【QMSによる対策】<br>3. 製作・据付段階と同様の対策 |
| ・平成15年のパワーシリンダ交換作業の際、交換前のパワーシリンダ取り付け状態交換部品の原状復帰の観点から、交換後の当該接合部に同様の措置を施す。 | ・交換用パワーシリンダは、交換前に外観上の異常の有無、現物が仕様のとおりであること等を確認し、交換後グリッパ爪の開閉動作を行い、所定の寸法のとおり爪が開いていることを確認している。（パワーシリンダの接合部について、交換前後の状態の確認を行わなかった） | ・パワーシリンダ交換作業の際、交換部品の交換前の取り付け状態の確認について、管理された状態ではなかった。<br><br>【QMSによる対策(調達管理)】<br>設備の本来の機能を喪失する又は重大な故障につながる部品を交換した際、交換前後の部品を比較し、それらの差異に気付くよう交換前後の取付け状態の確認を要求し、機構は、交換前後の取付け状態の確認が適切に実施されていることを確認する。 |

添付資料−13−1：AHMグリッパ離脱防止対策

AHMグリッパの把持機能における離脱防止対策としては、グリッパ爪先端部を直角で上方に屈曲させたフック付きとし、取扱対象機器のハンドリングヘッドにもこれに嵌合する溝を設けることにより、吊り上げて取扱対象機器の自重が作用した際、幾何学的に爪が外れない方式（セルフロック方式）を採用しており、AHMグリッパ部の形状が正常に維持され、グリッパ爪が正常に開閉出来ていれば（正常につかみ動作が出来ていれば）、取扱対象機器がAHMグリッパから離脱することがない構造としている。

今回の事象は、IVTM本体が落下した事象に係る要因分析結果から、平板形状の爪開閉ロッドが回転したことによってAHMグリッパによるつかみ状態が不完全なものとなり、セルフロック方式が正常に機能せずIVTM本体が落下したものであるため、以下の爪開閉ロッドの回転防止対策を施すことによって、離脱防止機能が確実に維持される構造となる（表−1 及び図−1 参照）。

① 平板形状の爪開閉ロッドが回転しないよう、爪支持板の開口幅を爪開閉ロッドの幅より狭め、回転を抑制する。

② パワーシリンダロッドとU字金具を、ねじ連結構造から一体構造に変更する。

さらに、AHMグリッパ部の形状維持に係る信頼性向上対策を施すことによって、AHMグリッパ部の形状は機械的に維持されたものとなる。

③ 爪支持ピンはボルト・ナット構造（廻り止め溶接＋Uナット付）から、爪支持ピンと抜け止め板の溶接一体構造によって固定する構造に変更する。

④ 爪開閉位置検出用リミットスイッチ取付け位置の信頼性を向上させるために、リミットスイッチを二重化して各リミットスイッチ間にスペーサを設置し、位置ずれの発生を機械的に防止する。

⑤ グリッパ蓋に取り付けるパワーシリンダ上部の取付ボルトは、グリッパ蓋を削り込みロッキングワイヤによる廻り止めを行う。

なお、その他AHMグリッパを構成する機器部品の内、電気・計装品やワイヤーロープなど分解点検を実施する必要がある機器部品は、点検時に部品を取り外せるように設計しており、廻り止めが必要なねじ部には、工業製品での使用実績からも充分信頼性が高い以下の方法によって廻り止め処置を施すことにより、ねじ部品が外れることはなく、把持機構が維持できるものとする。

| 適用先 | 廻り止め処置 | 備考 |
|---|---|---|
| 大径ボルト | ・トルク管理 | |
| 分解不要部位 | ・廻り止め溶接 | |
| 分解可能部位 | ・座金（折り曲げ、バネ）<br>・割ピン<br>・ロッキングワイヤ<br>・ノックピン（抜け止め点溶接）<br>・カシメ<br>・ダブルナット<br>・U ナット（注 1） | 注1）ナットの組み込まれたフリクションリング（特殊バネ）がボルトのねじ山を強圧し、自由回動を阻止する摩擦トルクを発生させるもの |

表-1 AHMグリッパ設計の離脱防止機能に係る妥当性評価

| No. | 項　目 | 従来設計 | 設計妥当性評価 | 問題点 | 対　策 | 信頼性向上対策 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | グリッパ爪構造、爪本数 | ・２本爪フック付き内つかみ及び外つかみ方式<br>・常陽キャスクカーで採用実績のある２本爪を踏襲。 | ・グリッパ爪先端部を直角に上方に屈曲させたフック付きとし、取扱対象機器ハンドリングヘッドにもこれに嵌合する溝を設けることにより、吊り上げて取扱対象機器の自重が作用した際、幾何学的に爪が外れない方式(セルフロック方式)としている。(法令報告案添付資料-12-2 別紙 1、別紙 2 参照)<br>・製作時の機能試験及び実機での動作において一旦嵌合したグリッパ爪が途中で外れた事例はないことから、爪構造及び爪本数の設計は妥当である。<br>・２本爪の強度評価を実施し、設計検証を行っている。 | － | － | － |
| 2 | グリッパ爪開閉(爪開閉ロッド上下動)方式 | ・パワーシリンダによる爪開閉ロッド直動型<br>・常陽キャスクカーで採用実績のあるパワーシリンダを踏襲 | ・パワーシリンダにより直接爪開閉ロッドの位置を上下に移動させてグリッパ爪位置を所定の位置で開閉させる。一般的な方式であり、適用実績が多く、信頼性が高い。<br>・工場製作時の機能試験及び実機での動作においてパワーシリンダは正しく上下動作を行っており、設計は妥当である。 | パワーシリンダの固定はねじ構造であり、ねじに緩み止め接着剤を塗布している。 | － | パワーシリンダ取付け部の信頼性向上のため、ロッキングワイヤで廻り止めする。 |
| 3 | グリッパ爪支持方式 | ・一体化した爪支持板で爪を挟み込み、爪支持ピンで固定<br>・爪支持ピン及ナット側座金は回り止め溶接を施した上で自己回り止め機能付きナットで固定 | ・爪支持板は一体化しているため、爪支持板の片側が外れ、爪が脱落することは無い。<br>・グリッパ爪及び爪支持ピンは、つかみ時に片吊りとなった場合でも破断しない強度を有している。<br>・工場製作時の機能試験及び実機での動作において正常に作動しており設計は妥当である。 | 爪支持ピンは溶接によって廻り止めされているものの、固定がねじ構造である。 | － | 形状維持に係る信頼性向上のため、爪支持ピンの固定部を溶接構造とする。 |

| No. | 項　目 | | 従来設計 | 設計妥当性評価 | 問題点 | 対　策 | 信頼性向上対策 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 4 | 爪開閉ロッド | 形状及び爪開閉方式 | ・テーパ付き平板形状ロッド上下動により爪を開閉 | ・爪開閉ロッドのテーパ部が爪の内面に沿って上下動することにより爪の開閉動作を行う。 | 今回、平板形状の爪開閉ロッドが約 90° 回転したため、爪開閉機能が失われた。 | 支持板の開口部を狭くすることにより、爪開閉ロッドが回転しないようにする。 | ― |
| 5 | | パワーシリンダとの接続方法 | ・U字金具を介したねじによる接続 | ・ねじ部について、AHM運用に伴い発生する振動によって、爪開閉ロッドの廻り止め機能を喪失する可能性がある。 | ねじ部の廻り止め機能が不十分となり、爪開閉ロッドが約 90° 回転し、爪開閉機能が失われた。 | パワーシリンダU字金具のねじ部をなくし、一体構造とする。 | ― |
| 6 | | 位置検出 | ・多重化したリミットスイッチ | ・パワーシリンダに取付けられたリミットスイッチにより、パワーシリンダロッド上下位置の変化を検出し、間接的にグリッパ爪の開閉状態を確認する。リミットスイッチは二重化することにより信頼性を高めている。<br>・グリッパ爪がつかみ状態を保持できる爪開閉ロッドの範囲は、正規位置から上方 9.4mm、下方 21.5mm であり、リミットスイッチの爪開閉ロッドが正規位置調整公差±2mm に対して十分余裕がある。（内つかみの場合）<br>（法令報告案添付資料-11-2 別紙 1 参照）<br>・工場製作時の機能試験及び実機での動作において正常に作動しており設計は妥当である。 | リミットスイッチの位置調整公差は±2mm としており、この精度で設置されている限り、グリッパ爪は必ずつかみ位置となる。万一 2 個のリミットスイッチが双方とも位置がずれた場合はグリッパ爪が正しいつかみ位置とならない可能性がある。<br>（内つかみの場合） | ― | リミットスイッチ取付け位置の信頼性向上のため、各リミットスイッチ間にスペーサを設置し、位置ずれの発生を機械的に防止する。 |

| No. | 項　目 | 従来設計 | 設計妥当性評価 | 問題点 | 対　策 | 信頼性向上対策 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 電源喪失時の落下防止（フェールセーフ） | ・パワーシリンダの電源喪失時にはブレーキが作動し、爪がはなし状態とならない設計 | ・工場製作時の機能試験で正常に作動しており設計は妥当である。 | ― | ― | ― |
| 8 | グリッパ未着地状態での切り離し操作防止 | ・昇降荷重と昇降位置によりグリッパの着地を確認した後、グリッパ爪の開閉が可能となるインタロック | ・工場製作時の機能試験及び実機での動作において正常に作動しており設計は妥当である。 | ― | ― | ― |

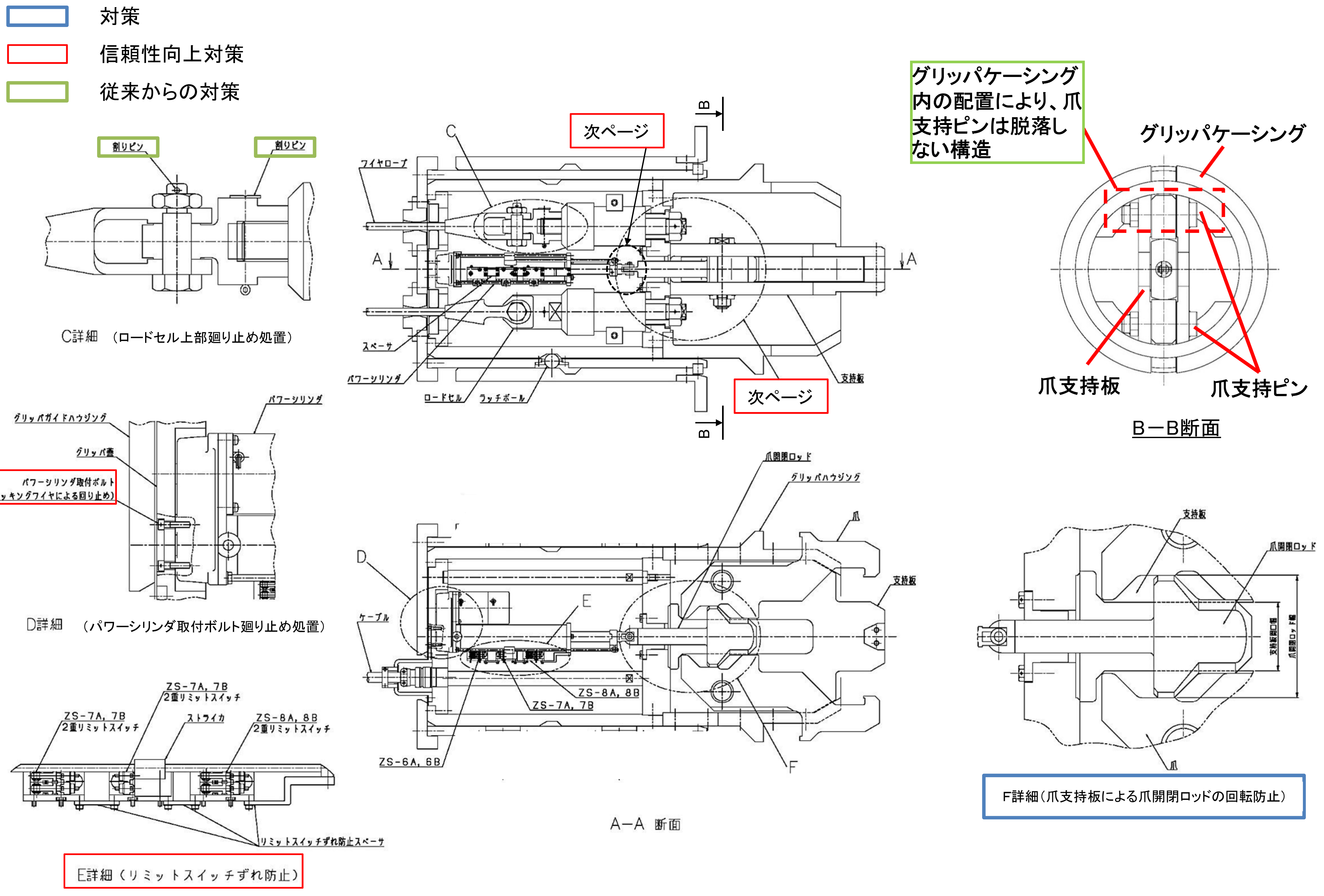
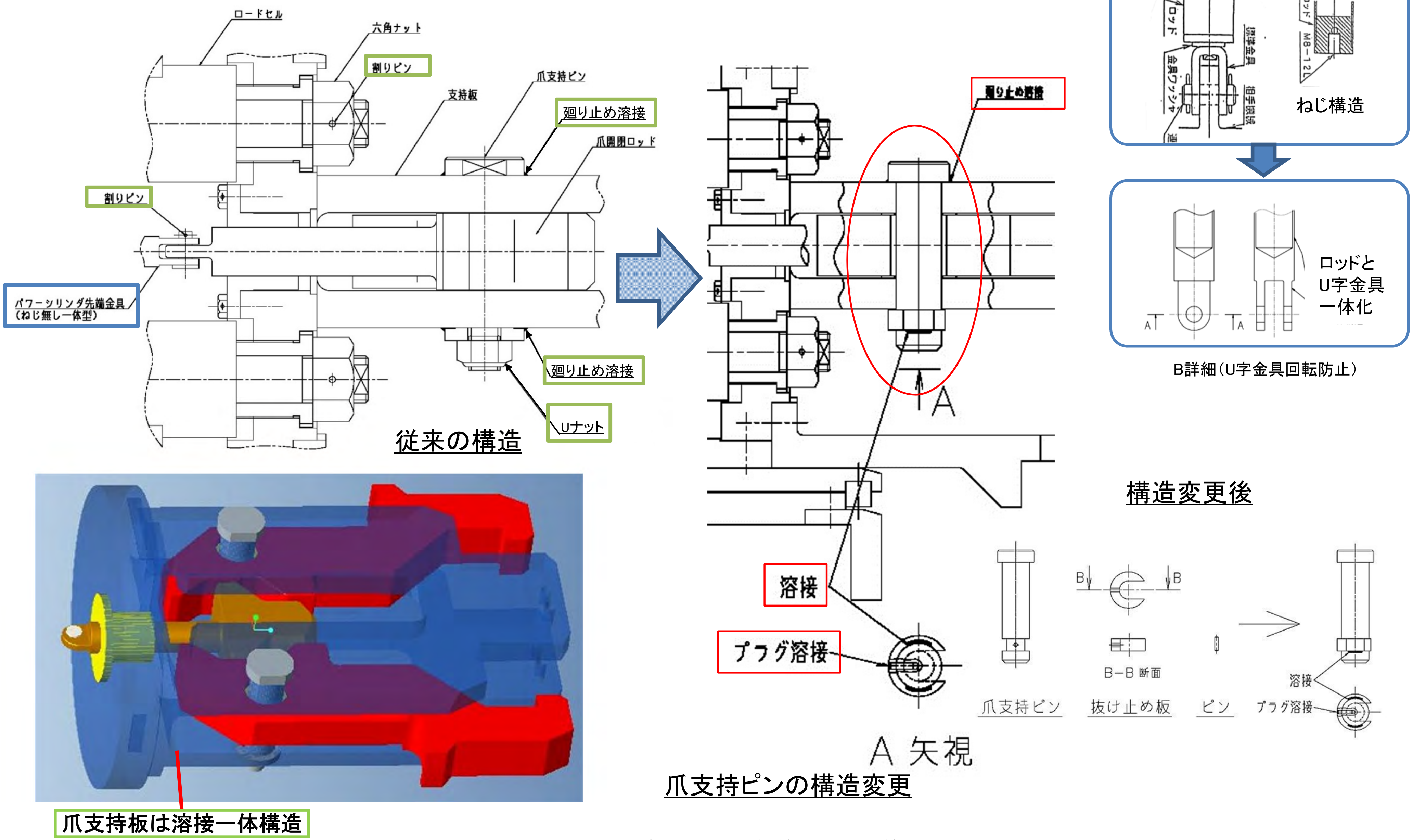



図-1　離脱防止機能等に係る対策（1/2）

対策
信頼性向上対策
従来からの対策




図−1　離脱防止機能等に係る対策（2/2）

添付資料-13-2：AHMグリッパの恒久対策の検討について

1．IVTM落下防止の観点からの恒久対策の検討

IVTM本体落下についての要因分析の結果を踏まえ、AHMグリッパの恒久対策を検討した。設計上の対策としては、直接の原因となった爪開閉ロッドの回転を確実に防止する対策を施すとともに、爪開閉ロッドの駆動時、リミットスイッチによるパワーシリンダ位置検出の信頼性を向上させることにより、グリッパ爪が確実に対象をつかむ機能を強化する。また、グリッパ爪が確実に対象をつかんでいることを判断するための吊り・不吊り判定機能について、機能強化策を講ずることが重要であると判断した。

なお、対策検討に際して、AHMを構成する部品の単一故障により対象物を落下させる部品を評価し、表1に整理した。その結果、単一故障により取扱対象機器の落下を引き起こす可能性がある要因はパワーシリンダのU字金具の緩みのみであることを確認した。

2．AHMグリッパに対する要求機能と設計方針

AHMグリッパの恒久対策においては、上記IVTM本体の落下事象対策の観点とAHMに対する要求機能を再整理し、最適な設計を検討する。グリッパに要求される機能とこの機能に対する設計方針を表2に整理する。

今回のIVTM本体落下に鑑み、恒久対策の設計方針にあっては、IVTM本体落下の直接原因となった要因を排除するため、爪支持板の開口部を狭くすることにより、爪開閉ロッドが回転しないようにするとともに、U字金具のねじを無くす構造について検討する対策方針とする。爪開閉ロッドを位置決めするリミットスイッチがずれないようリミットスイッチ間にスペーサを設けるとともに、追加対策（バックアップ対策）として、吊り・不吊り判定の強化策について検討する。

3．把持機構コンセプト

AHMグリッパの把持機構案として以下の４つのコンセプトを検討し、表３で要求機能と設計方針の観点から比較評価を行った。

（1）コンセプト No.1：　平板爪開閉ロッ＋廻り止め案（改良爪支持板によるガイド構造）
（2）コンセプト No.2：　円筒爪開閉ロッド＋廻り止め案（円筒型爪開閉ロッド構造）
（3）コンセプト No.3：　平板爪開閉ロッド（円筒爪開閉ロッドでも対応可）
＋廻り止め案（キー構造）
（4）コンセプト No.4：　平板爪開閉ロッド＋廻り止め案（ガイドピン構造）

上述のコンセプトはいずれも要求機能を満足し、かつ実施できるものであるが、設計変更リスクを最小化するためには、現設計を考慮し、かつ最もシンプルな改造及び構造となるコンセプトが必要となる。その恒久対策として

・No.1：改良爪支持板によるガイド構造

を選定した。

4．パワーシリンダU字金具にねじを用いない構造について

（1）　U字金具のねじを無くしたパワーシリンダのロッド構造

図5にパワーシリンダのロッド構造を示す。現状のパワーシリンダでは、ロッド部とU字金具はねじ結合構造となっているが、ロッドとU字金具を一体で削り出す等の工夫を

行うことによりねじ構造を無くすことが可能である。一体削り出し構造の場合、U字金具の向きを機械加工の精度で指定の位置に合わせせることも可能である。

（2） 構造変更による影響の検討

U字金具がねじ構造でゴムワッシャを用いた構造の場合、爪開閉ロッドからの力がこの部分で緩和されてパワーシリンダ側に伝達される効果があったが、ロッドとU字金具を一体化することにより爪開閉ロッドからの力が緩和されずにパワーシリンダ側に伝達されることになるため、以下に示す構造対応を行う。

図6に示すようにU字部と爪開閉ロッドとの結合部に1mm程度のあそびを設けることにより、爪開閉ロッドからの力がパワーシリンダ側に直接伝達されるのを防止する。また、図7に示すように、爪開閉ロッドが回転した場合でもロッドの回転は爪支持板により制限されパワーシリンダ側に伝達されない。

5. 吊り・不吊り判定に係る強化策コンセプト

（1） 概要

高精度位置検出器を設置し、位置検出系の精度向上を図ることによって、位置、荷重変化のデータを取得できるようにする。また、吊り・不吊り判定前のグリッパつかみ動作時に、取扱対象機器の重量分の荷重が増加するAHMグリッパの位置に対して数mm前及び後の位置で荷重判定する機能を追加する。

1）位置検出器の選定

現状の位置検出器は、フルストローク約20m／1回転のアブソリュート型ロータリーエンコーダ（精度：約5mm/1bit）を適用しているが、ストローク範囲（300mm以下）について、14bitのアブソリュート型ロータリーエンコーダを適用することにより、約4m／1回転（約0.25mm／bit）の高精度な位置検出が確保できる。

適用する位置検出器の主要仕様を以下に、設置概念を図8に示す。

【位置検出器の主要仕様】

①分解能：16,384（14bit相当）
②出力コード：GRAYコード（既設同様）
③出力回路：NPNオープンコレクタ（既設同様）
④電源電圧：DC5V±5%

2）グリッパ昇降速度

位置検出の高精度化にあたっては、グリッパ昇降速度も可能な限り低速駆動できることが必要である。昇降駆動モータは可変速駆動モータであり、可変速制御範囲の下限に相当する120rpm（昇降速度：約3.5mm／sec）での運用を計画する。

即ち、位置検出高精度化が必要となる範囲でのAHMグリッパの昇降は、現状の高速・低速モードに加え、低低速モードを追加して運用する。

3）荷重－位置の表示

位置検出高精度化が必要な範囲は、全ての取扱対象機器、取扱い場所を考慮しても高々、300mm以下であることを踏まえ、これを包絡する位置範囲を設定して荷重／位置のXY表示を行わせる。具体的には、基準点を設け、基準点を0として、そこから300mmをフルスパンとして表示する。

（2） 計測制御の方法

1）AHMグリッパつかみの確実な検出

AHMグリッパは取扱対象機器をつかむため、下降、着床する。グリッパ爪を開いた後、AHMグリッパの上昇となるが、グリッパ爪が取扱対象機器のハンドリングヘッドに掛かり、AHMグリッパの自重を検知した位置を基準位置とし、そこを起点にAHMグリッパの上昇位置をカウントすることで、AHMグリッパの着床状態によるAHMグリッパの位置検出のばらつきが排除でき、安定した位置検出精度が得られる。

また、AHMグリッパの上昇速度として、新たに「低低速」モードを追加して、より高精度な位置検出化が図れ、AHMグリッパつかみ動作時の mm 単位の位置/荷重変化データの取得とともに、mm 単位の荷重判定が可能となる。

2）計測制御方法

各取扱対象機器、取扱い場所に応じ、AHMグリッパの着床位置よりAHMグリッパの自重を検出した位置を基準位置に設定、基準位置を基点とした位置信号を出力する。即ち、必ず基準位置 0mm からの表示とする。また、XY 表示以外に、操作盤の既設デジタル位置表示に加え、高精度位置検出器専用のデジタル位置表示器を追加する。

なお、着床位置から低低速モードで上昇する途上で、荷重判定を 2 回実施し、予め設定した荷重設定値を超えた場合には、注意警報表示を行うとともに一時停止を行わせるなど、位置検出インタロックを構成する。

（3） 操作盤盤面レイアウト

監視操作に必要な操作器、表示器を操作パネル面に追加が必要となるため、既設レイアウトを活かした変更を計画する。図9に操作パネル変更案を示す。

（4） 運転監視

運転監視機能の強化により、つかみ動作時に mm 単位の位置制御が行われ、取扱対象機器を吊る前後の段階で、設定値からの逸脱の有無が検知される。また、得られる位置／荷重特性は、正常時の位置／荷重変化と比較、検討に用いられ、吊り・不吊りの判定に資することができる。

6. まとめ

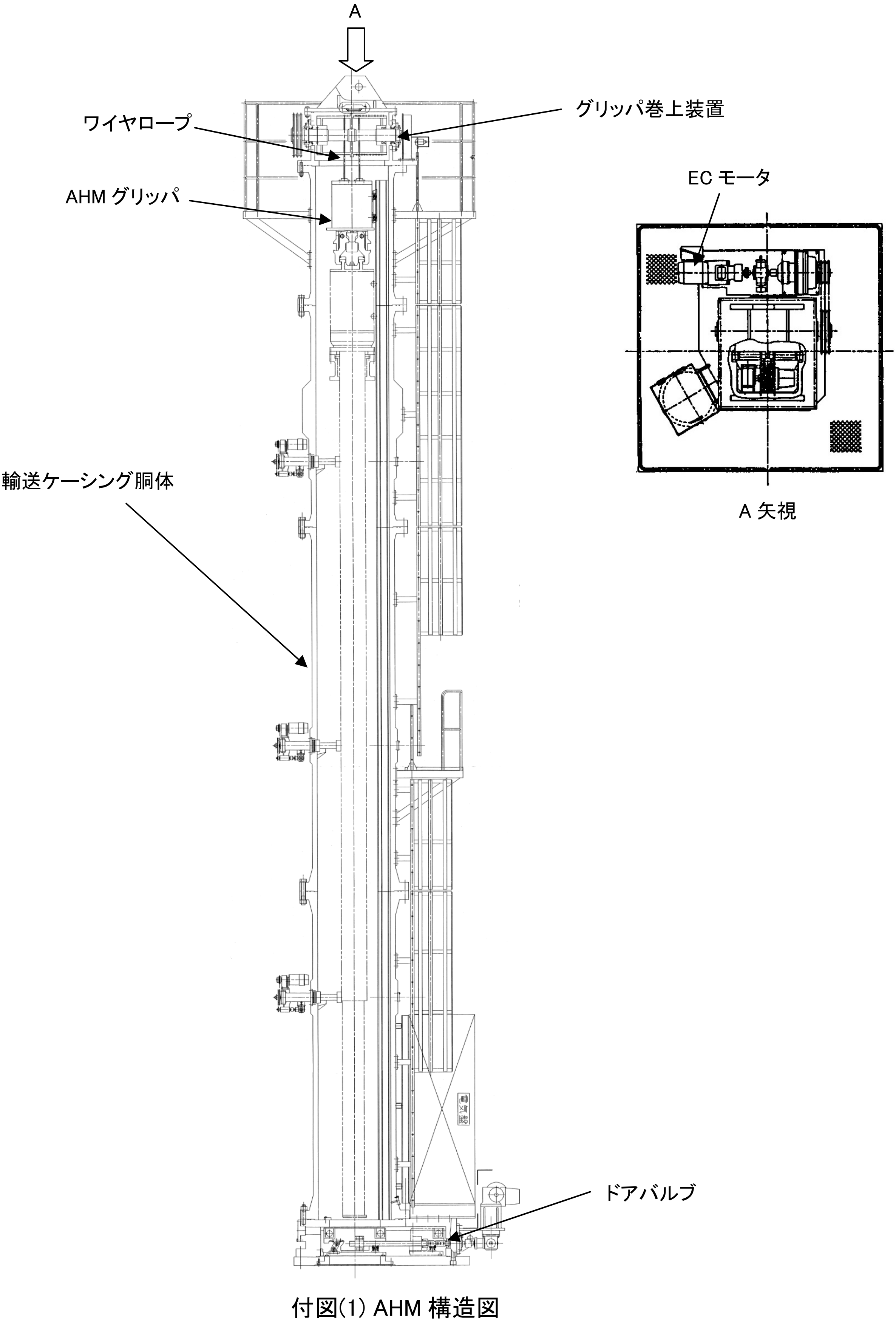
IVTM本体落下に係る要因分析に基づき、AHMグリッパの恒久対策として、爪開閉ロッドの回転を無くす構造及びグリッパ爪の把持機構の強化について、設計方針を検討した。最終的に、改良爪支持板による爪開閉ロッドのガイド構造とU字金具とパワーシリンダロッドのねじ構造を無くした構造を合わせて、最適な組合せとして選定した。把持機構のコンセプトについては、現設計を考慮し、かつ最もシンプルな改造及び構造となるものとして、改良爪支持板によるガイド構造を採用することとした。

加えて、吊り・不吊り判定強化策として、高精度位置検出器を設置し、つかみ動作時の mm 単位の位置／荷重変化を取得して表示させ、また荷重判定機能を追設する方策を検討した。これにより、運転時の確実な吊り・不吊り判定の強化を図った。

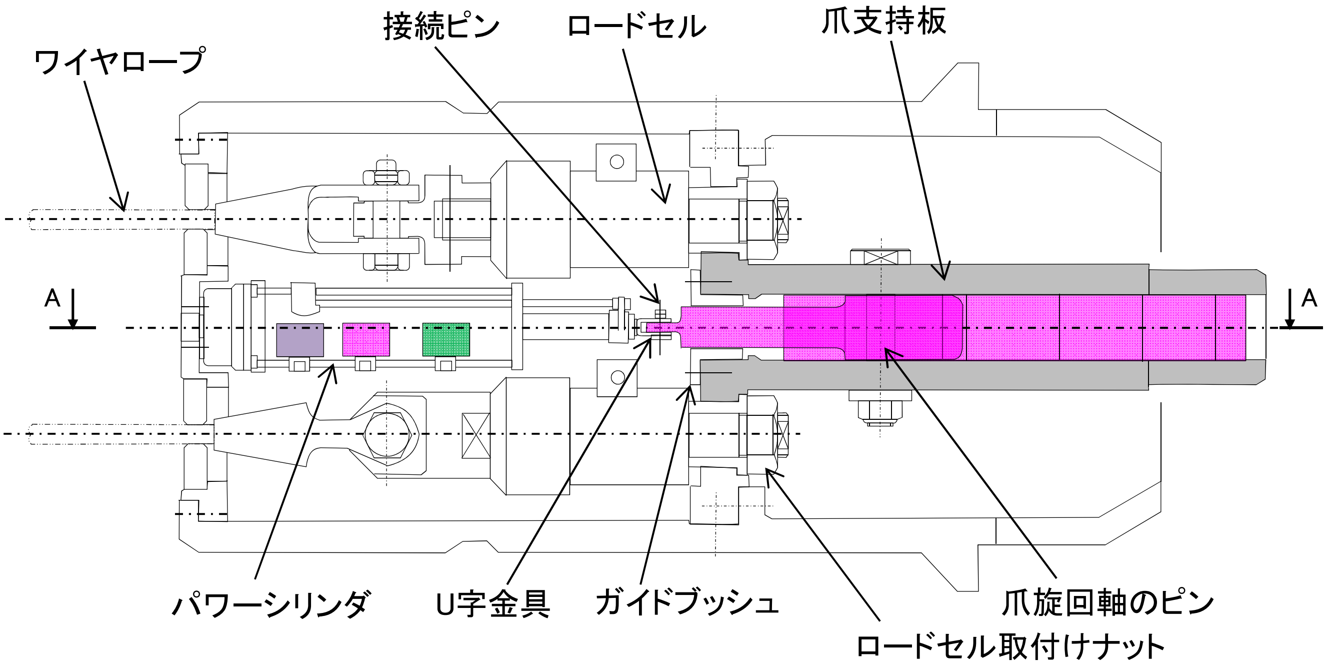
表1 AHMグリッパの単一部品故障分析

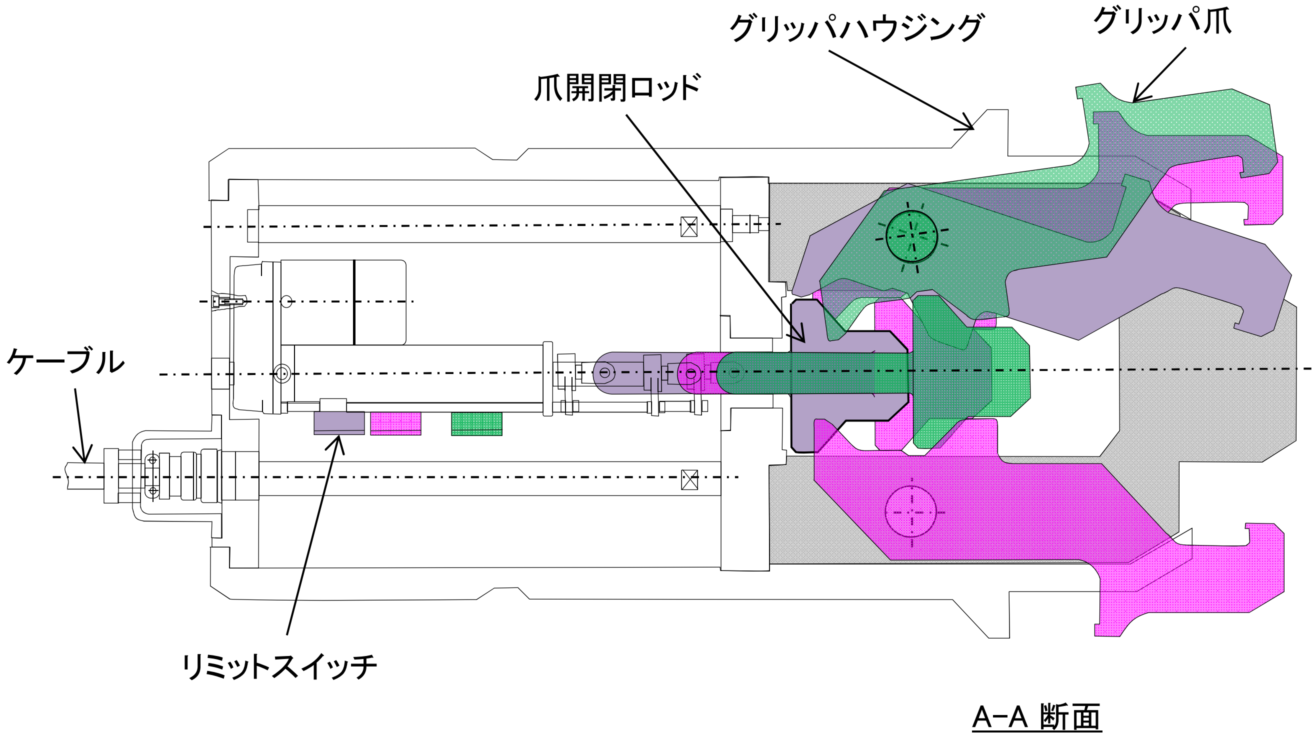
| 対象 | AHM構成部品 | 供用中の監視では確認困難な想定異常事象（付図参照） | 落下に至る可能性 | | 対策 |
|---|---|---|---|---|---|
| AHM | グリッパ巻上げ機構 | ECモータの突発的な故障により、急速に下降する | × | グリッパ昇降速度異常警報が発報し、インタロックが作動しブレーキがかかり、下降停止する。 | |
| | | ワイヤの損耗により、ワイヤが切断する | × | ワイヤ2本で吊り上げている。仮にワイヤ1本で吊る場合でも、吊り荷重上の問題は無く、落下することはない。 | |
| | | ロードセルの取付けナットが外れ、吊上げ用ワイヤが外れる | × | ロードセル2個の内1個が外れ、ワイヤ1本で吊る場合でも、吊り荷重上の問題は無く落下することはない。 | |
| | グリッパ機械部品 | 爪開閉ロッドの摩耗、へこみ、変形により、グリッパ爪が正常に開閉できない | × | 爪開閉ロッドに作用する力は最大でも表面に薄い圧痕が生じる程度であり爪開閉が不十分となるような変形は起こらない | |
| | | グリッパ爪の変形、引っ掛かり部破損・摩耗により、ハンドリングヘッドと正常に嵌合できない | × | グリッパ爪のつかみ機能が失われるほどグリッパ爪の変形はAHMの運用中ではありえない。また、正常な運用では引っ掛かり部には荷重はかからないが、仮に、グリッパ爪の変形等が発生した場合でもグリッパ爪が正常に開けば落下させることはない。 | |
| | | 爪旋回軸のピンの破損及び抜けにより、グリッパ爪が機能しなくなる | × | つかみ時に片吊りとなった場合でも、爪旋回軸のピン及びグリッパ爪が破断しない強度を有している。 | |
| | | 爪支持板の外れにより、グリッパ爪が機能しなくなる | × | 爪支持板は一体構造としており、爪開閉ロッドを挟み込む形状となっている。グリッパ爪支持板はロードセルの取付けボルトで固定されており、六角ナットは割ピンによって廻り止めされているため、外れることはない。<br>仮に、ロードセルの一つが外れたことを想定しても、グリッパ爪支持板は一体構造であることから、把持機構は維持できる。 | |
| | グリッパ電気部品<br>リミットスイッチ<br>（L/S） | L/S取付の緩みによる位置ずれにより、グリッパ爪の開閉が正常にできない | × | L/Sの設置においては、爪の開き幅を見て調整するとともに、設置したL/Sが位置ずれしないようボルトと接着剤によりずれ防止対策をとっている。 | 念のための位置づけとして、L/S取付け位置の信頼性を向上させるために、各L/S間にスペーサを設置し、位置づれの発生を機械的に防止する。 |
| | | L/S取付けロッドの変形により、グリッパ爪の開閉が正常にできない | × | （同上） | （同上） |
| | | 突発的なL/S故障により、つかみ・離し誤信号を発信する | × | つかみ位置、IVTMはなし位置、FHMはなし位置の各L/Sは二重化（つかみはAND回路、はなしはOR回路）することにより監視しており、信頼性を高めている。単一故障でのつかみに関する誤信号はない。 | |
| | 電気品電気部品<br>パワーシリンダ | パワーシリンダの接続ピン破損により、爪開閉ロッドが正常に上下動できない | × | IVTMをつかむ場合は、接続ピンが破断しても、パワーシリンダのシャフトが爪開閉ロッドを押し込むことができるため、ハンドリングヘッドをつかむことができる。しかし、つかんだ爪を離すことができない問題は生じる。FHMのつかみはなしに対しては問題は生じない。なお、接続ピンにかかる荷重は40kg以内と小さく、破断することはない。 | |
| | | パワーシリンダのU字金具の緩みにより、爪開閉ロッドが正常に上下動できない | ○ | 今回のトラブルは、U字金具のねじ部が緩み、平板形状の爪開閉ロッドが約90° 回転したため、爪開閉機能が失われたもの。<br>→U字金具のねじ部に係る廻り止め機能の喪失により、爪開閉ロッドが回転し、爪開閉機能が失われた。 | ・パワーシリンダU字金具のねじ部をなくし、一体構造とする。<br>・グリッパ支持板の開口部を狭くすることにより、爪開閉ロッドが回転しない構造に変更する。 |
| | 電気盤 | 突発的なモータ誤動作により、爪「はなし」となる | × | PB誤操作/ブレーキ誤動作除く、リレー誤動作と制御装置故障のAND条件が必要となるため、爪開閉用モータ駆動用コンタクタの動作において、単体誤動作はない。 | |
| | | 突発的なブレーキ誤動作により、グリッパ爪「はなし」となる | × | ブレーキコイル励磁でブレーキ解除につき、爪開閉用モータ駆動用コンタクタ動作が必要であるため、単体誤動作はない（フェイルセーフ）。 | |
| | | 突発的なリレー誤動作により、スリッパ爪「はなし」誤信号を発信する | × | 開閉動作に係わるリレーロジックはA接点構成の正論理であるため、誤動作は考えにくい。<br>仮にリレー誤動作により、仮に「はなし」モードにした場合でも、グリッパ爪はハンドリングヘッドに機械的に嵌合しており、IVTMが脱落することはない。 | |
| | | 突発的な制御装置故障爪「はなし」誤信号を発信する | × | 制御装置故障により、「はなし」モードになった場合でも、グリッパ爪はハンドリングヘッドに機械的に嵌合しており、IVTMが脱落することはない。 | |

○：落下に至る可能性は排除できない　×：落下に至ることはない




付図(1) AHM 構造図




付図(2) AHMグリッパ構造

表2　AHMグリッパの把持機能と設計方針

| No. | 要求機能 | 設計方針 |
|---|---|---|
| 1 | 以下の3機種の取り扱が行えること。<br>・FHM本体<br>・IVTM本体<br>・USV本体 | ○被取扱機器の上端部構造に起因したスペース制約から、2本爪方式とする。<br>○構造上のスペース制約から、IVTMは外つかみができず、FHMは内つかみができないため、内つかみ、外つかみを併用できる爪構造とする。 |
| 2 | AHM運用プロセス中に発生する荷重より変形・破損の無いこと。 | ○構成部材は、以下の運用プロセスでの荷重に対して十分な強度を有すること。<br>・昇降動作<br>・転倒/起立動作<br>・メンテ台車による移送<br>・クレーンによる吊下げ移動 |
| 3 | AHM運用プロセス中に発生する振動荷重により緩み・ズレ・回転の無いこと。 | ○（繰り返し）外荷重により、締結部、嵌合部が緩み、ズレ、回転等の相対変位を起さないように、位置保持構造や廻り止めを設けること。 |
| 4 | 遠隔操作可能な駆動方式であること。 | ○巻取り構造をコンパクトにでき、取扱性、操作性に優れる電動駆動方式とする。 |
| 5 | 電源喪失時に誤動作しないこと。 | ○停電作動型の電磁ブレーキを用いる。<br>○駆動軸は台形ネジ等の自重落下を起さない機構を用いる。<br>○グリッパ爪先端にハンドリングヘッドに嵌合する突起を設け、一旦つかめば吊り荷がかかった状態では放せない構造とする。 |
| 6 | グリッパ爪の開閉精度を有すること。 | ○グリッパ爪及び爪開閉ロッドは、駆動機構の動作精度、検出精度を考慮しても、つかみ離しを確実に行える幾何学形状とすること。 |
| 7 | グリッパ爪開閉状態を適切に検出できること。 | ○これまでのグリッパ製造の実績に基づき、爪開閉ロッドの位置をLS等の検出器で検出する構造とする。 |
| 8 | 繰り返し動作に対する信頼性・耐久性を有すること。 | ○摺動抵抗が小さく、耐久性のある部品、部材を用いる。摺動部は表面処理を考慮する。<br>○摺動抵抗増大、かじり等の原因となる局所的な接触、片当たり、せり、拘束等が発生しない構造とする。 |
| 9 | 点検を行える構造であること。 | ○点検時に、グリッパ爪、爪開閉ロッド等の動作機構部の点検を容易に行える構造とすること。<br>○分解・再組立を容易に行える構造であること。 |
| 10 | 【検出系への要求機能】<br>異常状態を検出できること。<br>・爪開閉状態異常<br>・吊り荷重異常<br>・位置異常 | ○位置（ストローク）と荷重を検出し、吊り状態の異常を検出する。<br>○爪開閉ロッドの位置を検出器で検出することにより間接的に爪開度を異常を検出する。<br>○信頼性を上げるため、爪開閉状態の検知方法は多重性・冗長性を高める。 |

### 表3　把持機構コンセプトの評価

| コンセプト No. | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 概　　念 | 改良爪支持板によるガイド構造(図1)<br><br>爪を挟み込むように設置されている「支持板」の開口窓の幅を狭めることにより、爪開閉ロッドの回転を防止する部材とする。U 字金具取付け部にはゴムワッシャを取付け、ねじ部にはロックタイトを塗布する。 | | 円筒型爪開閉ロッド構造(図2)<br><br>爪開閉ロッド先端部を円筒と円錐形で構成した形状とし、万一、爪開閉ロッドが回転しても爪の開度が変わらない構造とする。U 字金具取付け部にはゴムワッシャを用いず、廻り止め機構を施す。 | | キー構造(図3)<br><br>爪開閉ロッド軸部とスリーブ間にキーを設け爪開閉ロッドの回転を防止する。U 字金具取付け部にはゴムワッシャを取付け、ねじ部にはロックタイトを塗布する。 | | ガイドピン構造(図4)<br><br>爪開閉ロッド先端部を伸ばし、スリットを設け、このスリットを通るように爪を挟み込むように設置されている「支持板」からガイドピンを貫通させ、爪開閉ロッドの回転を防止する部材とする。ガイドピンを設置するため支持板に開口窓は設けない。U 字金具取付け部にはゴムワッシャを取付け、ねじ部にはロックタイトを塗布する。 | |
| FHM, IVTM, USVの 3 機種の取り扱が行えること。 | ○ | ・内つかみ・外つかみ兼用爪とすることにより機能を満足する。 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 |
| AHM運用プロセス中に発生する荷重より変形・破損の無いこと。 | ○ | ・構造対応が可能である。 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 |
| AHM運用プロセス中に発生する振動荷重により緩み・ズレ・回転の無いこと。 | ◎ | ・U字金具にゆるみがでても爪開閉ロッドはガタ以上に回転できない。 | ◎ | ・仮に、爪開閉ロッドが回転しても爪の開度は変わらない構造であるが、爪開閉ロッドの抜け落ちを防止するためU字金具ねじ部に折り座金やロッキングワイヤ等の廻り止めを施す。 | ◎ | ・U 字金具にゆるみがでても爪開閉ロッドはガタ以上に回転できない。 | ◎ | ・U 字金具にゆるみがでても爪開閉ロッドはガタ以上に回転できない。 |
| 遠隔操作可能な駆動方式であること。 | ○ | ・電動駆動方式である。 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 |
| 電源喪失時に誤動作しないこと。 | ○ | ・停電時作動型の電磁ブレーキを用いている。<br>・駆動軸は台形ねじを使用しており、自重落下を起さない。<br>・グリッパ爪先端にハンドリングヘッドの溝に勘合する突起を設け、一旦掴めば吊り荷がかかった状態では放せない構造としている。 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 |
| 爪の開閉精度を有すること。 | ○ | ・実証された形状であり、LS が正しく設定されることによりグリッパ爪は精度良く開閉動作する。 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 | ○ | 同　左 |
| 繰り返し動作に対する信頼性・耐久性を有すること。 | ○ | ・耐久性のある部品、部材で構成されている。<br>・摺動部は単純な構造であり摺動抵抗増大、かじり等のリスクは小さい。 | ○ | 同　左 | △ | ・キー摺動部で片当たり等の局所的な接触が発生するリスクがある。 | ○ | ・耐久性のある部品、部材で構成されている。<br>・摺動部は単純な構造であり摺動抵抗増大、かじり等のリスクは小さい。 |
| 爪開閉状態を適切に検出できること。 | ○ | ・爪開閉ロッドの回転防止がとられているためパワーシリンダに設置された LS で正しく検出できる。 | ○ | ・爪開閉ロッドが回転してもグリッパ爪の開度は変わらない構造であるためパワーシリンダに設置された LS で正しく検出できる。 | ○ | ・爪開閉ロッドの回転防止がとられているためパワーシリンダに設置された LS で正しく検出できる。 | ○ | 同　左 |
| 点検を行える構造であること。 | ○ | ・爪支持板に開口窓を設けているため分解せずに爪及び爪開閉ロッド摺動部を目視点検できる。 | ○ | 同　左 | △ | ・キー摺動部を点検するためには分解が必要である。 | △ | ・爪支持板に開口窓がないため、グリッパ爪及び爪開閉ロッド摺動部、ガイドピン摺動部を点検するためには分解が必要である。 |
| 総合評価 | ◎<br>設計変更リスクを最小化の点で、実績のある現設計を最大限維持し、かつ最もシンプルな改造及び構造となるコンセプトとして候補の一つ | | ◎<br>同　左 | | ○ | | ○ | |

上記コンセプト総合評価で◎となったコンセプト No.1 および No.2 について、U 字金具にねじを用いない構造の場合の追加評価を以下に実施した。

| コンセプト No. | 1 | | 2 | |
|---|---|---|---|---|
| 概　　念 | 図1<br>グリッパ爪を挟み込むように設置されている「爪支持板」の開口窓の幅を狭めることにより、爪開閉ロッドの回転を防止する部材とする。<br>パワーシリンダのロッドとU 字金具を一体化しねじを無くした構造とする。 | | 図2<br>爪開閉ロッド先端部を円筒と円錐形で構成した形状とし、万一、爪開閉ロッドが回転してもグリッパ爪の開度が変わらない構造とする。<br>パワーシリンダのロッドと U 字金具を一体化しねじを無くした構造とする。 | |
| 振動等により爪開閉ロッドからパワーシリンダ側へ作用する水平方向の力の支持 | ◎ | ・U 字部と爪開閉ロッドとの結合部にあそびを設けることにより、爪開閉ロッドからの水平方向の力をパワーシリンダ側に直接伝達されるのを防止できる。 | ◎ | ・U 字部と爪開閉ロッドとの結合部にあそびを設けることにより、爪開閉ロッドからの水平方向の力をパワーシリンダ側に直接伝達されるのを防止できる。 |
| 振動等により爪開閉ロッドからパワーシリンダ側へ作用する回転方向の力(トルク)の支持 | ◎ | ・U 字部と爪開閉ロッドとの結合部にあそびを設けることにより、爪開閉ロッドからのトルクをパワーシリンダ側に直接伝達されるのを防止できる。 | ○ | ・パワーシリンダの強度が問題となるほど大きくはないが、爪開閉ロッドからパワーシリンダ側へトルクが作用する。 |
| 評　　価 | ◎ | | ○ | |

断面図 / 鳥瞰図

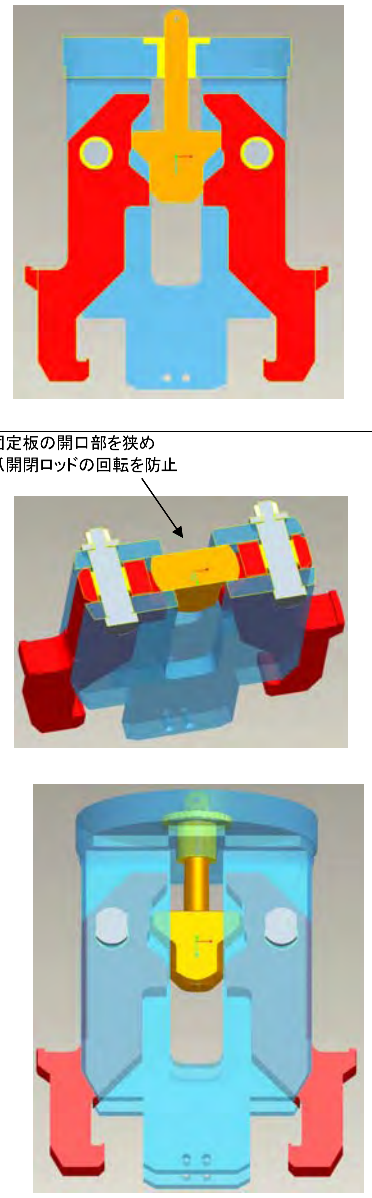



図1　改良爪支持板によるガイド構造

図2　円筒型爪開閉ロッド構造

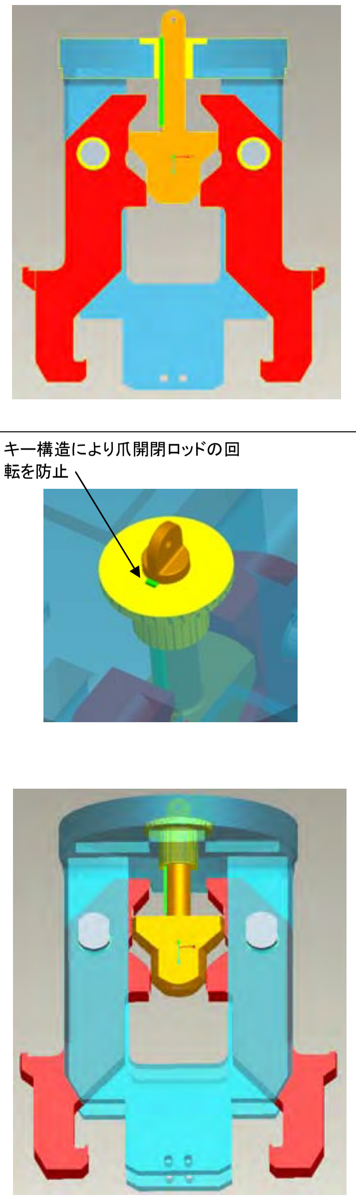



図3　キー構造

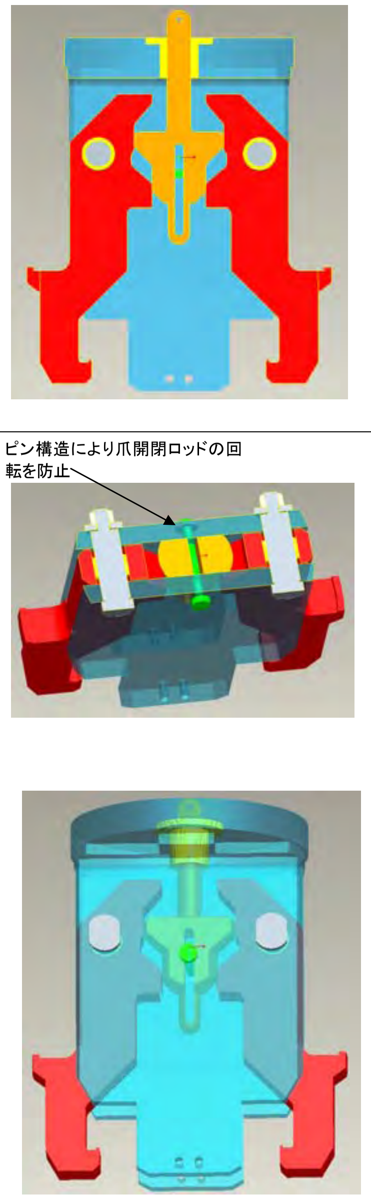



図4　ガイドピン構造

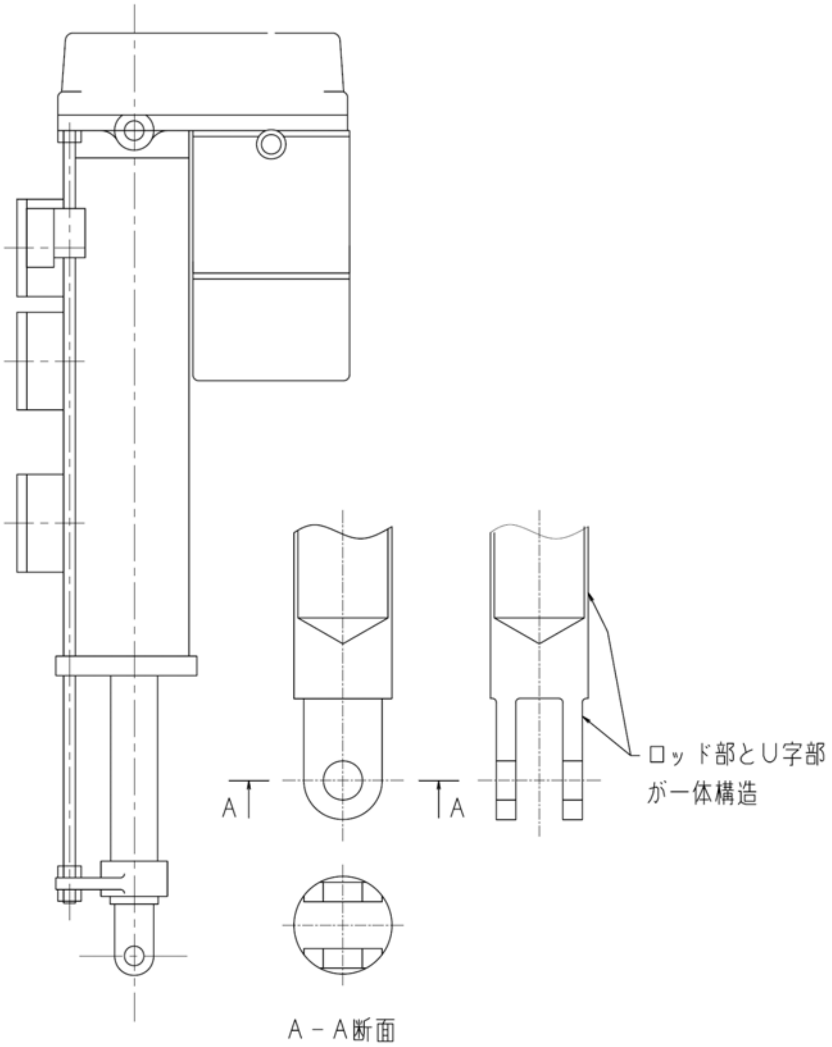



図５　パワーシリンダのロッド構造

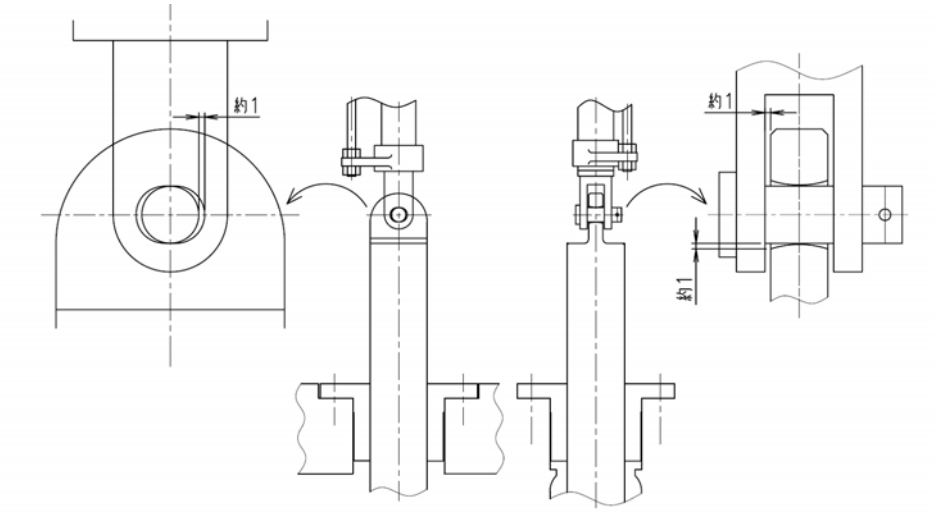



図6　パワーシリンダへの力の直接伝達防止機能

a.  爪開閉ロッド上端の振れ回りを、結合部のあそび寸法（1mm 程度）以内に抑える必要があるが、爪開閉ロッドとガイドブッシュの間隙（ガタ）は現状のままでも結合部の振れ回りは 1mm 以内に抑えられる。

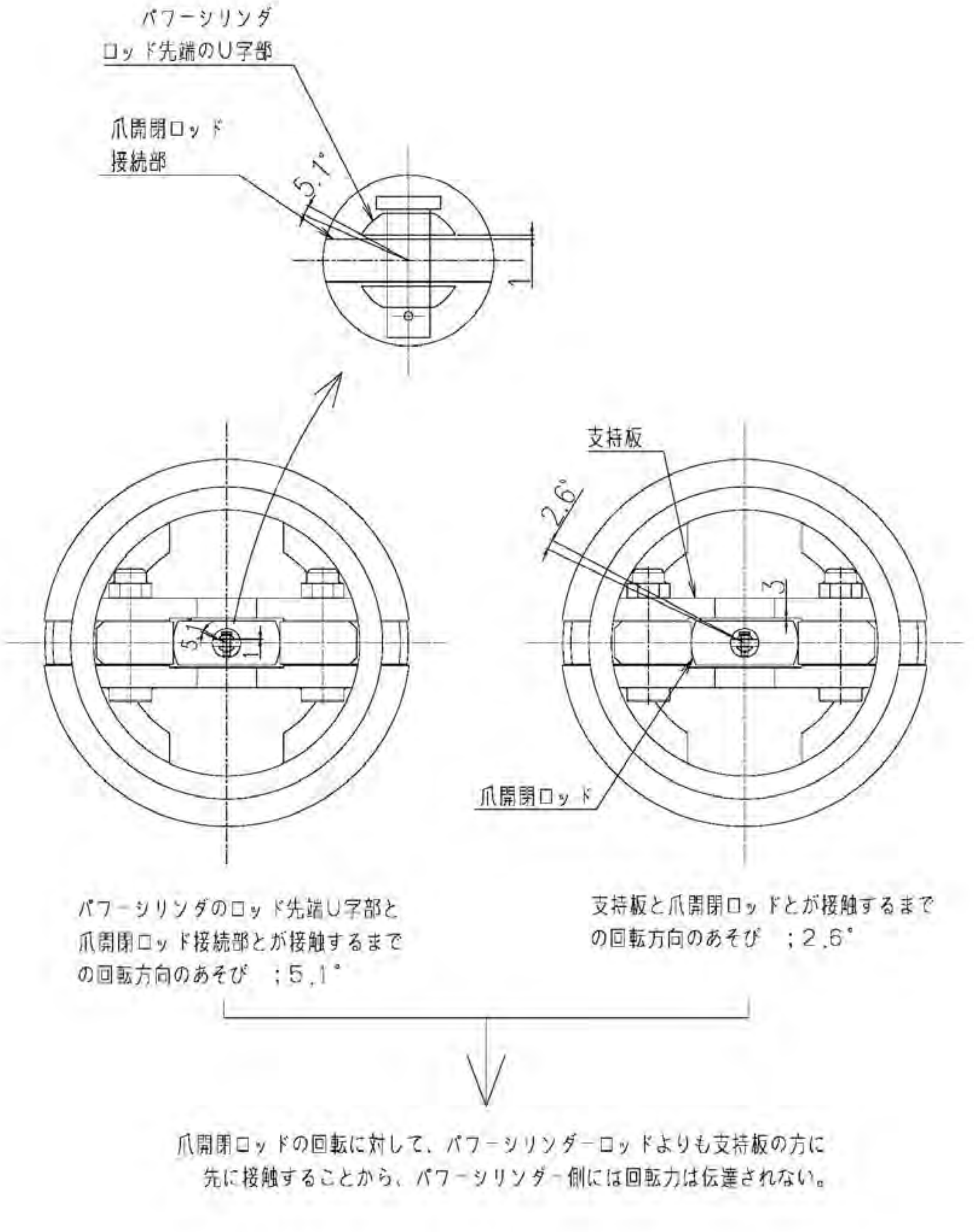



図7　パワーシリンダへの回転力伝達が起きない

b.　爪開閉ロッドには、結合部のあそび寸法を 1mm 程度とすることにより、上図のとおり、爪開閉ロッドが回転した場合においても爪開閉ロッドの回転は支持板により制限されパワーシリンダ側に直接伝達されることはない。

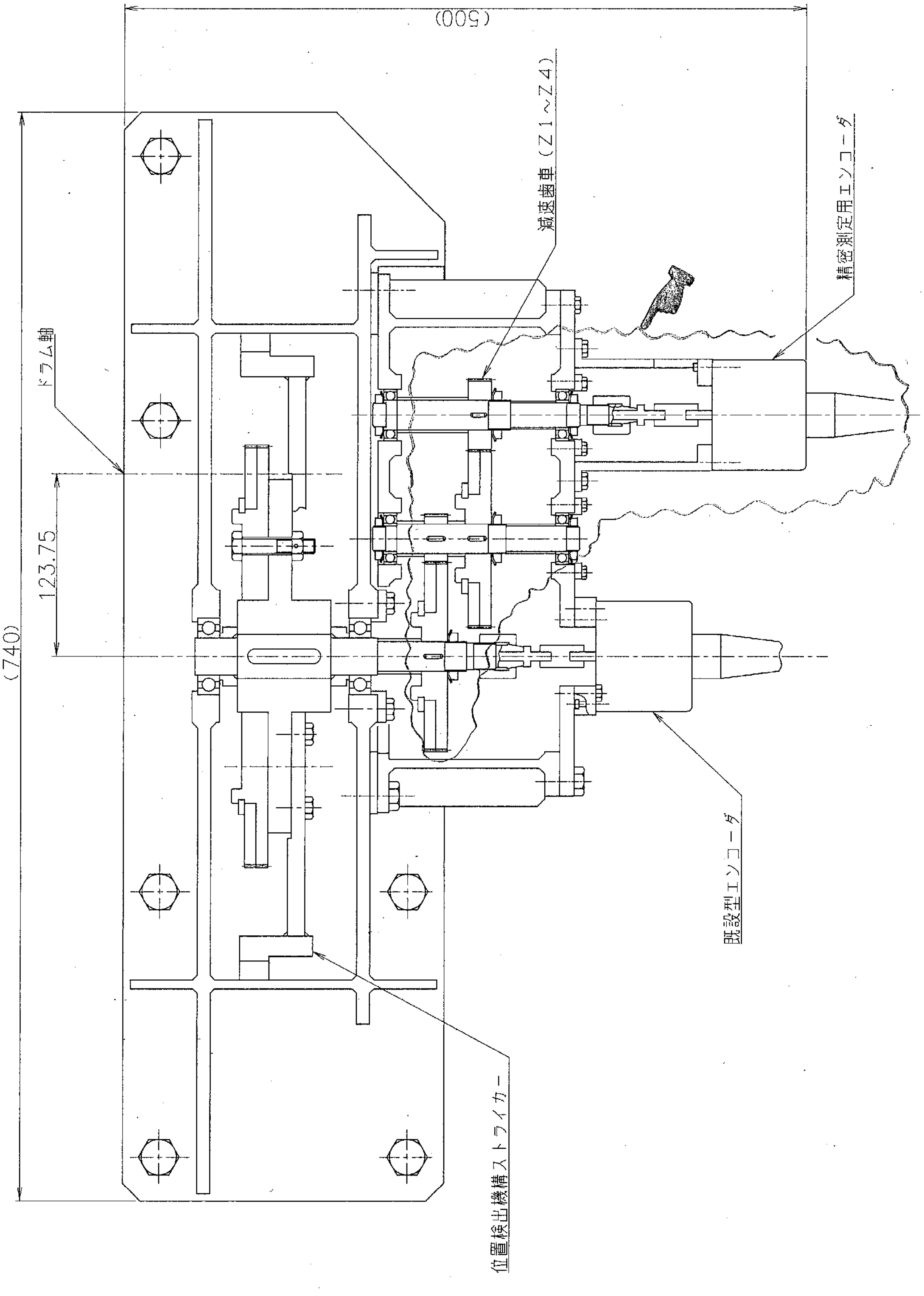

(500)
減速歯車（Z1～Z4）
精密測定用エンコーダ
ドラム軸
123.75
(740)
既設型エンコーダ
位置検出機構ストライカー

図8　エンコーダ追設例

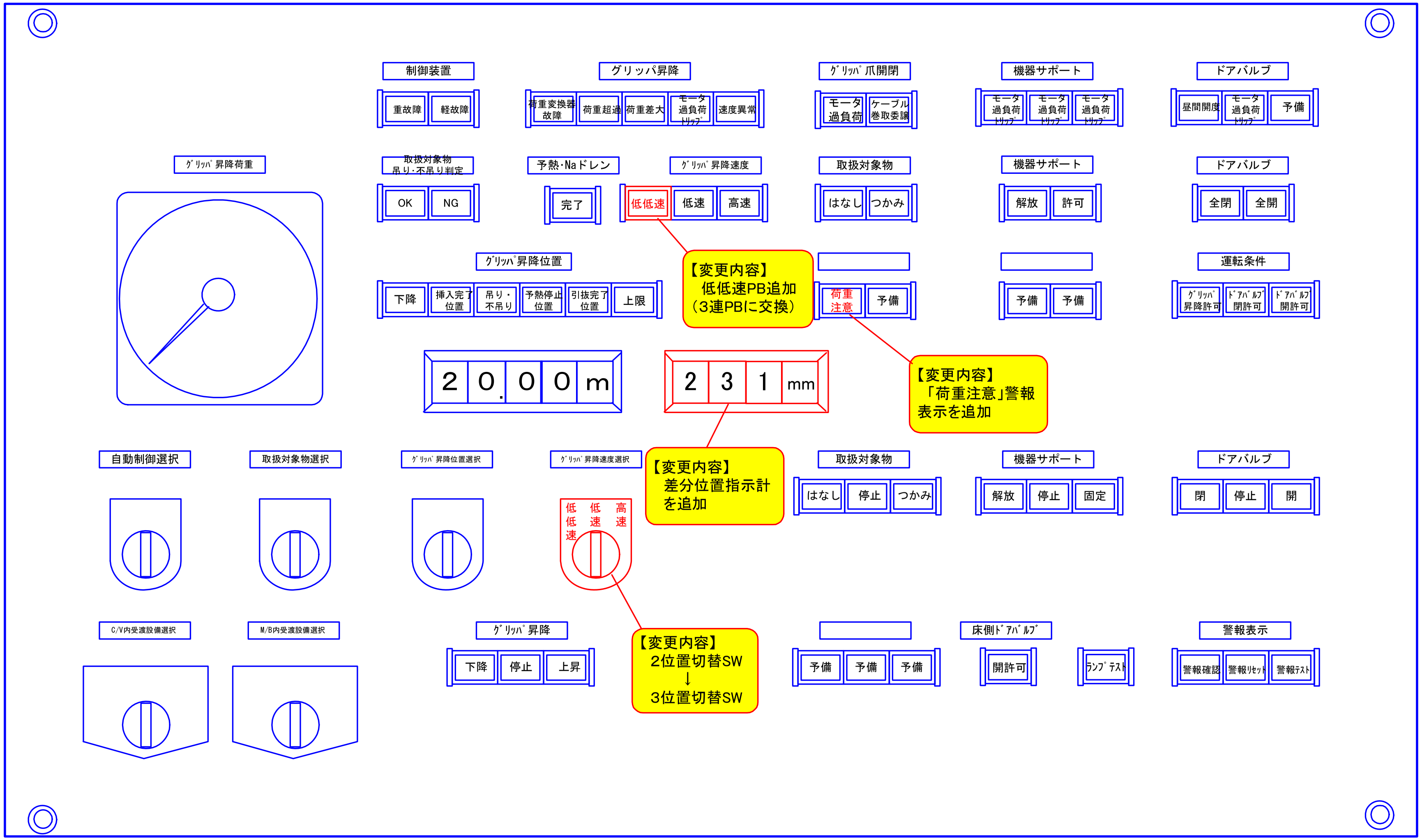
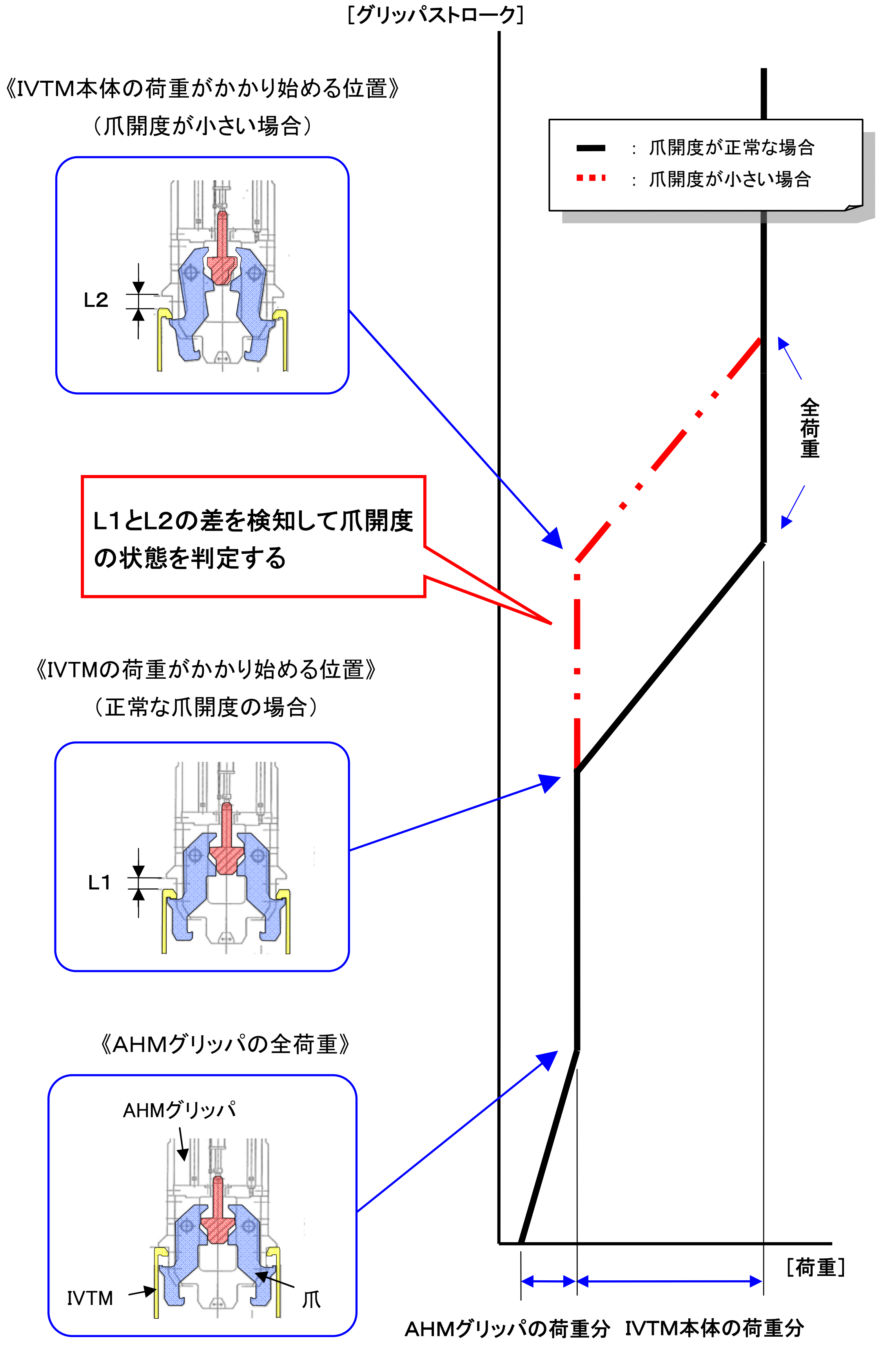
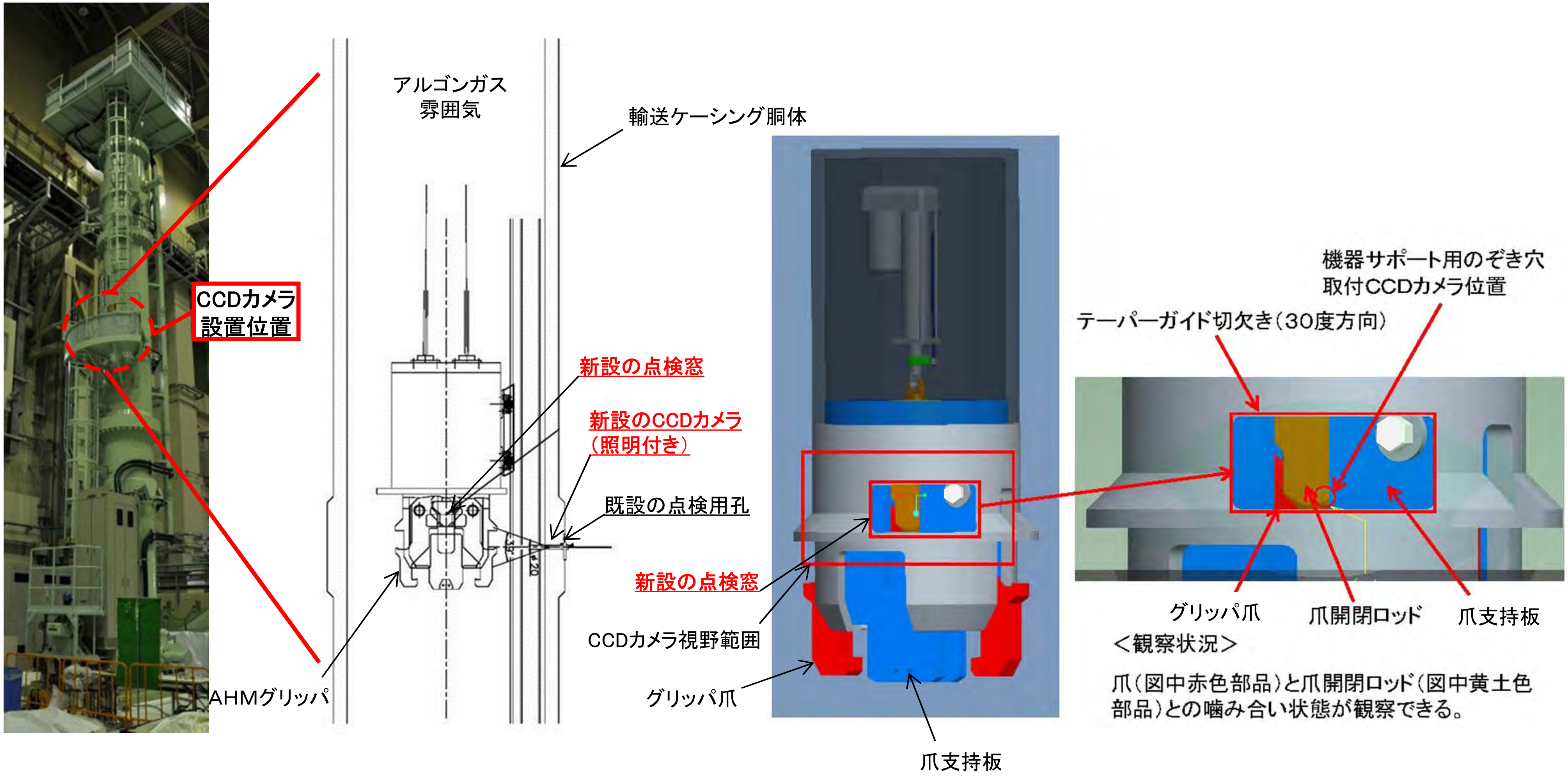



図9　輸送ケーシング操作盤　操作パネル変更イメージ


[グリップストローク]
《IVTM本体の荷重がかかり始める位置》
（爪開度が小さい場合）
L2
━ ： 爪開度が正常な場合
･･･ ： 爪開度が小さい場合
全荷重
L1とL2の差を検知して爪開度の状態を判定する
《IVTMの荷重がかかり始める位置》
（正常な爪開度の場合）
L1
《AHMグリッパの全荷重》
AHMグリッパ
IVTM
爪
[荷重]
AHMグリッパの荷重分
IVTM本体の荷重分

# 添付資料-13-4：点検窓の追加




CCDカメラによる観察イメージ

AHM内部はアルゴンガス雰囲気となっており、AHMを開放して直接目視による爪の開閉状態が確認できない。
爪の開閉動作は、リミットスイッチによる間接確認に加え、AHMグリッパに新たに点検窓を設け、AHMを使用する直前に既設の点検用孔からCCDカメラで爪の開閉状態等を点検できる改善を行う。

添付資料-14-1：落下防止対策の確認対象設備

| 区分 | No. | 設備名称 |
|---|---|---|
| グリッパ機構を有する設備 | 1 | プラグ取扱機 |
| | 2 | 保修用取扱機 |
| | 3 | 燃料交換装置 |
| | 4 | 燃料交換装置昇降駆動装置 |
| | 5 | 燃料切離装置 |
| | 6 | 炉外燃料貯蔵槽プラグ取扱機 |
| | 7 | 燃料移送機 |
| | 8 | 新燃料移送機 |
| | 9 | 原子炉容器廻りISI付帯設備 RV本体保護筒・プラグ取扱機 |
| | 10 | 原子炉容器廻りISI付帯設備 ペデスタル貫通・プラグ取扱機 |
| | 11 | 燃料出入機本体A |
| | 12 | 燃料出入機本体B |
| | 13 | 燃料洗浄設備フィルタ交換装置 |
| | 14 | 燃料缶詰設備缶蓋取扱機 |
| 安全上重要な機器を吊る設備 | 1 | ポーラクレーン |
| | 2 | メンテナンスクレーン |
| | 3 | 通路クレーン |
| | 4 | キャスククレーン |
| | 5 | 燃料容器ジブクレーン |
| | 6 | 燃料容器ホイスト |
| | 7 | 原子炉補助建物屋上クレーン |
| | 8 | 取水口クレーン |